

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS
BIOLOGICAS**



PROYECTO DE TESIS:

“Desarrollo de una secuencia dendroarqueológica del Complejo Astronómico Chankillo usando *Prosopis sp.* en Casma. Región Ancash. 2015”

Presentada por:

Br. Evelin Elizabeth Ortiz Vargas.

Asesor:

Blgo. Humberto Rivera Calle M Sc.

Coasesor:

Arqueol. Ivan Ghezzi PhDC.

Línea de investigación:

Aprovechamiento y gestión sostenible del ambiente y los recursos naturales.

Piura, Perú.
2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS BIOLOGICAS

PROYECTO DE TESIS:

“Desarrollo de una secuencia dendroarqueológica del Complejo
Astronómico Chankillo usando *Prosopis sp.* en Casma. Región Ancash.
2015”

Línea de investigación:

Aprovechamiento y gestión sostenible del ambiente y los recursos
naturales.



Br. Evelin Elizabeth Ortiz Vargas
Ejecutora



Blgo. Humberto Rivera Calle M Sc.
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE CIENCIAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS
BIOLOGICAS**

PROYECTO DE TESIS:

“Desarrollo de una secuencia dendroarqueológica del Complejo
Astronómico Chankillo usando *Prosopis sp.* en Casma. Región Ancash.
2015”

Línea de investigación:

Aprovechamiento y gestión sostenible del ambiente y los recursos
naturales.



Blgo. Roberto Mendoza Rendón Dr.
Presidente



Blgo. Ronald Wilmer Marcial Ramos M Sc
Secretario



Blgo. Jesús Manuel Charcape Ravelo Dr.
Vocal



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE CIENCIAS**



ACTA DE SUSTENTACIÓN 031-2018-D-FC-UNP

FACULTAD DE CIENCIAS

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para evaluar la Tesis denominada **"DESARROLLO DE UNA SECUENCIA DENDROARQUEOLÓGICA DEL COMPLEJO ASTRONÓMICO CHANKILLO USANDO Prosopis sp. EN CASMA. REGIÓN ANCASH. 2015"** presentada por la señorita Bachiller **EVELYN ELIZABETH ORTIZ VARGAS**, con el asesoramiento del **Blgo. Humberto Rivera Calle, M.Sc**; oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, y de conformidad al Reglamento de Tesis para obtener el Título Profesional en la Facultad de Ciencias, la declaran:

APROBADA (X)

DESAPROBADA ()

Con la mención de:

BUENO

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo de Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO**.

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO**; después que el sustentante incorpore la sugerencia del Jurado Calificador.

Piura, 11 de junio 2018.

Dr. ROBERTO MENDOZA RENDÓN
PRESIDENTE DE JURADO DE TESIS

M.Sc. RONALD MARCIAL RAMOS
SECRETARIO DE JURADO DE TESIS



Dr. JESUS MANUEL CHARCAPE RAVELO
VOCAL DE JURADO DE TESIS

Campus Universitario - Urb. Miraflores S/N. Castilla
PIURA - PERU

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, porque sin Él nada hubiese sido posible.

A mis padres Mario y América, por el esfuerzo y sacrificio que realizan día a día para brindarnos lo mejor de sí, pero sobre todo por su gran amor.

A mis hermanos Isaí, Dorland y Danney, por ser el motivo principal para querer ser mejor día a día.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar al Blgo. Pablo Salazar Zarzosa, por su apoyo durante la realización de esta investigación, por cada uno de los conocimientos impartidos, por el tiempo y esfuerzo dedicado para potenciar más capacidades e incentivar a ser mejor profesional.

Al Ing. Rodolfo Rodríguez, a los Drs. Antonio Mabres y Gastón Cruz, al Arq. Ivan Ghezzi y al Blgo. Nestor Atarama, por haberme permitido formar parte del equipo investigador y por el apoyo brindado en cada una de las etapas de ejecución de este trabajo.

Asimismo, al Blgo. Humerto Rivera por haber aceptado apoyarme como asesor de esta investigación, por la confianza que me brinda y por cada uno de sus consejos.

A la Dra. María Mercedes Henríquez por su asesoría durante la redacción de esta investigación.

A Elva Palacios y Edwin Ancajima, mis compañeros de investigación dendrocronológica, por su grata compañía y muy buena amistad.

Al Programa Nacional de innovación para la Competitividad, por ifnanciar el proyecto “Estudio de parámetros biológicos en Prosopis sp. Como registro paleoclimático; Fundamentos y uso de nuevos métodos de medición dendrocronológica” (404-PNICE-PIBA-2014), del cual formó parte este proyecto de tesis.

A cada una de las personas que de una manera u otra me apoyaron en esta etapa importante de mi vida profesional.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS	3
2.1. Zona de estudio	3
2.2. Procesamiento mecánico	4
2.2.1. Fase de campo:	4
2.2.2. Fase de laboratorio:.....	6
2.3. Procesamiento digital	12
2.3.1. Medición de anillos de crecimiento	12
2.3.2. Montaje de la Colección	13
2.4. Evaluación del potencial dendrocronológico	14
2.5. Estadística descriptiva.....	14
III. RESULTADOS	16
3.1. Formación de la colección.....	16
3.2. Capacidad para producir una señal ambiental común.....	18
3.3. Frecuencia e intensidad de eventos climáticos.....	22
IV. DISCUSIÓN	24
V. CONCLUSIONES	26
VI. RECOMENDACIONES	27
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
ANEXOS	31

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tiempo de pulido	7
Tabla 2: Orden de pulido, granos de lija e instrumentos	8
Tabla 3: Detección de anillos ausentes y falsos.....	11
Tabla 4: Número de series solapadas por año.	16
Tabla 5: Indicadores de la capacidad para producir señal ambiental común en Chankillo	19
Tabla 6: Secciones obtenidas de Chankillo	33
Tabla 7: Tarugos de Chankillo	35
Tabla 8: Número de dinteles por portada.....	38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de Chankillo (arriba) y vista satelital de Google Earth de La Fortaleza (abajo).	3
Figura 2. Extracción de corers.....	4
Figura 3. Fortaleza: Portadas de acceso, torreones y templo de los pilares.	5
Figura 4. Extracción de secciones	6
Figura 5. corer en base de madera.	6
Figura 6. Sección rotulada (izquierda), Sección en base de triplay (derecha).....	6
Figura 7. Izquierda: Corer en el que se indica zonas próximas a la médula y corteza. Derecha: Anillos de crecimiento (flechas rojas) y sus límites (flechas amarillas). Aumento 10x.	9
Figura 8. Trazado de radios; reconocimiento, marcado y seguimiento de los anillos de crecimiento.....	9
Figura 9. Observación estereoscópica de anillos de Prosopis. Se observa dos radios de una sección. Las líneas horizontales señaladas con flechas blancas corresponden a bandas de parénquima que delimitan los anillos de crecimiento. Las líneas verticales son las fibras y los círculos cremas son los poros. En el radio 1 se observan dos anillos de crecimiento, denominados “a” y “b”, cuyos límites se notan claramente. Al realizar el seguimiento del primer hasta el segundo radio, se visualiza que el límite superior desaparece (indicado por la flecha blanca 1 y línea continua amarilla). Por el contrario, al realizar el seguimiento del segundo, aparece un nuevo límite de parénquima (línea punteada amarilla), subdividiendo el anillo b en dos (b ₁ y b ₂)......	10
Figura 10. Ajustes de imagen: Imagen sin ajustes (izquierda) e imagen con ajustes (derecha). 12	12
Figura 11. Medición de anillos de crecimiento	13
Figura 12. Nueva codificación. Donde: TS- torreón sur, G06- portada 6, X- ubicación desconocida, D-disco o sección, C-core o tarugo.	14
Figura 13. Series de crecimiento que forman la Colección de Chankillo.	17
Figura 14. Colección Chankillo. Series distribuidas de acuerdo a la fecha de corte.	18

Figura 15. Wiggle-matching de los fechados ^{14}C obtenidos cada 10 anillos de la muestra PCK-76 de Chankillo.	32
Figura 16. Portada techada con dinteles de algarrobo	38
Figura 17. Lijas con diferente número de grano empleadas para pulir	39
Figura 18. Pulido de una sección con lijadora excéntrica	39
Figura 19. Criterios de solapamiento utilizados para formar la colección.	40

RESUMEN

Esta investigación formó parte del proyecto “Estudio de parámetros biológicos en *Prosopis sp.* como un registro paleoclimático: fundamentos y uso de nuevos métodos de medición dendrocronológica”, que consideró utilizar individuos del género *Prosopis*, comúnmente denominados “algarrobos” como la especie central del estudio por considerarse emblemática en la costa del Perú, debido al uso que nuestros antepasados le dieron a su madera en diferentes momentos de la historia. Además, por su importancia científica, pues existen estudios que han demostrado que los individuos pertenecientes al género *Prosopis* pueden emplearse para la reconstrucción de eventos climáticos.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una secuencia dendroarqueológica de *Prosopis sp.* del Complejo Astronómico Chankillo en Casma-Región Ancash. Para esto, se pulieron tarugos y secciones de madera de algarrobo procedente del sitio arqueológico Chankillo. Se midió el grosor de los anillos (CooRecorder), se cofecharon (CDendro), y dataron las series (Wiggle-Matching).

Se obtuvo una colección con coeficiente de correlación 0,54 en la que se pudo establecer periodos correspondientes a posibles años Niño. Concluyendo así, que la metodología empleada permitió desarrollar secuencias para analizar la asociación entre sus series de crecimiento y observar la señal ambiental que producen.

Palabras clave: Anillos de crecimiento, Dendrocronología, RStudio, CooRecorder, CDendro, Wiggle-Matching.

ABSTRACT

This research was part of the project "Study of biological parameters in *Prosopis* sp. As a record paleoclimatic: fundamentals and use of new methods of measurement dendrochronological", which I consider to use individuals of the genus *Prosopis*, commonly called "algarrobos" as the central species in the study as emblematic in the coast of Peru, due to the use that our ancestors gave their wood at different times in history. In addition, by its scientific importance, since studies have shown that individuals belonging to the genus *Prosopis* may be used for the reconstruction of climatic events.

The objective of this work was to develop a sequence dendroarcheological of *Prosopis* sp. The Astronomical Complex Chankillo in Casma-Region Ancash. For this, it is polished tarugas and sections of carob wood from the archaeological site Chankillo. Measured the thickness of the Rings (CooRecorder), cofecharon (CDendro), and dated the series (Wiggle-Matching).

It was obtained a collection with correlation coefficient of 0.54 in which it was possible to establish periods relating to possible years Child. Thus concluding that the methodology used to develop sequences to analyze the association between its series of growth and observe the environmental signal they produce.

Key words: Growth rings, Dendrochronology, CooRecorder, CDendro, RStudio, Wiggle-Matching.

I. INTRODUCCIÓN

La madera es un elemento natural cuyas características como la resistencia, densidad, compactación y su amplia disponibilidad la convirtieron en un recurso indispensable para el desarrollo del hombre a lo largo del tiempo. Ha sido empleada en el pasado para fabricar herramientas, objetos decorativos y en las construcciones (Giménez, Moglia & Gómez, 2013; Juárez, 1995).

Las evidencias del uso de la madera se distinguen en dos, indirecto y directo. La primera consiste en obtener información palinológica, escritos que relaten el uso que le dieron y las representaciones gráficas de piezas de madera. Como evidencias directas se tiene principalmente la presencia física del material, y de manera secundaria las siluetas e impresiones producidas por la madera (Juárez, 1995).

Algunos ejemplos de evidencias directas en cuanto al uso de la madera señaladas por Guillermo (2004) son: a) Columnas de chozas de los cazadores de mamut, en el continente europeo b) palas, trineos y columnas de sección cuadrada, durante el período paleolítico y c) restos de construcciones palafíticas de madera en el Lago Constanza entre Alemania y Suiza, así como en Asia, Oceanía, África y América.

En América algunos ejemplos del uso de la madera son: una iglesia de Córdova – Argentina construida por los jesuitas, la “cual estaba constituida con un techo de madera, sostenida por columnas de madera dura labrada, y horcones en las naves laterales formando un sistema estructural de madera casi independiente de los muros” (Giménez et al., 2013). Otro ejemplo es, en el yacimiento arqueológico Buchillones, La Habana-Cuba, se empleó como postes de sus viviendas y para fabricar sus objetos ceremoniales (Carreras, 2009; Jardines, Toppe & Calvera, 2013).

En el Perú, la madera también ha sido un elemento importante para el desarrollo de las civilizaciones. En la cultura Sicán se hallaron moldes de madera; los Waris construyeron sistemas sismorresistentes empleando la madera para amarrar muros en las esquinas. Se ha observado formando parte de tumbas, estructuración de techos (dinteles), elementos de soporte (horcones) en otras civilizaciones preincaicas costeras. Durante la época del virreinato se empleó en la construcción de edificios y en la República se edificaron iglesias de quincha, que son paneles de madera con caña y barro, material que posee la particularidad de ser además sismorresistente (Cancino, Farneth, Garnier, Vargas & Webster, 2009; Chirinos & Aguinaga, 2011).

En nuestro país, los estudios arqueológicos han demostrado el uso de la madera principalmente en las construcciones de las épocas prehispánica, colonial y republicana (Chirinos & Aguinaga, 2011; Ghezzi & Rodríguez, 2015; Vásquez, Ecurra & Huamán, 2010).

El estudio de las maderas en construcciones arqueológicas es importante porque permite conocer: 1) su uso, 2) características del clima del pasado, como temperatura, precipitación y actividad solar, al que estuvieron expuestas a lo largo del tiempo; 3) su cronología en el tiempo, 4) el lugar de procedencia y los estados de preservación a los que fueron expuestas (Giraldo, 2011; Juárez, 1995; Llorente, 2012; Rodríguez, 1997).

La ciencia que permite evaluar lo antes mencionado se denomina dendrocronología y lo realiza estudiando la variación del ancho de los anillos de crecimiento (Bannister, 1980; Campos, 2009; Llorente, 2012). Y dentro de ésta, el campo que se dedica a estudiar el anillado de los árboles, piezas de madera arqueológica, se denomina dendroarqueología (Kaennel & Schweingruber, 1995). Su aplicación en el estudio de maderas conservadas de época histórica inició a partir de los años 90, para además de la información ecológica obtener información etnográfica, como el uso y trabajo que le dieron los pobladores antiguos (Pérez, Carrión, Valcárcel, & Burillo, 2007).

Como se mencionó la dendrocronología utiliza los anillos de crecimiento de los árboles, y respecto a ellos se puede agregar que son capas de células producidas durante un año por el xilema que en un corte transversal se observan como bandas. Se forman cuando el crecimiento se detiene

debido a limitaciones por factores internos y/o externos (Guti, 2009; Llorente, 2012; Kaennel & Schweingruber, 1995).

Para aplicar la evaluación dendrocronológica, los anillos de crecimiento deben ser anuales; sin embargo algunos autores han puesto en duda su formación en los árboles tropicales (Llorente, 2012). No obstante, Dussart, Medina & Bogino (2015); Giraldo (2011); Mendilsevo, Camarero & Gutiérrez (2016); Rivera (2013); Rivera, Moya & Shea (2010); Silva (2012) y Tomazello, Roig & Zevallos (2009); Villalba, Villagra, Boninsegna, Morales, & Moyano (2000), entre otros, desarrollaron trabajos que han permitido demostrar el potencial dendrocronológico de muchas especies tropicales.

En el Perú, Avila et al., (2010); Beltrán & Valencia, (2013); Campos (2009); Pereyra, Inga, Santos & Rodríguez (2014); Rodríguez, Woodman, Balsley, Mabres & Phipps (1993); Rodríguez et al. (2005); Tomazello, Roig & Zevallos, (2009); Zúñiga (2012), desarrollaron investigaciones para estudiar la sensibilidad de algunas especies arbóreas a las condiciones ambientales, evaluando así su potencial dendrocronológico y su capacidad para registrar de manera natural las variaciones ambientales en sus anillos de crecimiento.

De los estudios dendrocronológicos realizados para especies tropicales, resultaron de mayor interés para el desarrollo de este trabajo aquellos relacionados con las especies pertenecientes al género *Prosopis*, comúnmente denominados “algarrobos”. Primero, porque demostraron la presencia de anillos anuales delimitados por parénquima terminal, con el potencial para ser utilizados en la reconstrucción de las condiciones climáticas a las que se vieron expuestos durante su desarrollo. Segundo, por encontrarse individuos de este género formando parte de la estructura (dinteles) del complejo arqueológico Chankillo en Casma – Ancash; los cuales posiblemente fueron extraídos del bosque cercano a esta zona. Actualmente, este bosque es pequeño, pero es probable que en épocas prehispánicas fuese más denso.

Ghezzi & Rodríguez (2015) realizaron un estudio dendrocronológico previo de los algarrobos de este bosque, observando que producen anillos anuales cuyo ancho responde a las variaciones ambientales, registrando los Eventos de El Niño de 1925, 1983 y 1998. Asimismo, basados en el principio de uniformidad, los autores mencionan que es posible aplicar dendrocronología a los dinteles prehispánicos que forman parte de Chankillo. Éstos autores no determinaron la especie evaluada pero, en su estudio Burghardt, Brizuela, Mom, Albán & Palacios (2010), señalan que la especie dominante en Casma corresponde a *Prosopis limensis*, también denominado comúnmente como algarrobo zambo.

Razón por la cual el objetivo general del trabajo de tesis fue desarrollar una secuencia dendroarqueológica de *Prosopis sp.* del Complejo Astronómico Chankillo en Casma – Región Ancash. Para alcanzar este objetivo, se desarrolló una metodología estadística que permitió solapar series dendrocronológicas de diferentes restos arqueológicos; determinar la capacidad de estas series para producir una señal ambiental común, y estudiar la frecuencia e intensidad de eventos climáticos intensos ocurridos dentro de la época correspondiente a la construcción de Chankillo

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio

El muestreo se realizó en el Complejo Astronómico Chankillo, que es un sitio arqueológico ubicado a $9^{\circ}33'26.90''$ S y $78^{\circ}14'10.04''$ O en el departamento de Ancash, provincia de Casma, a una altitud entre 80 y 300 m. Es el ejemplo más destacado de una nueva clase de sitio monumental que hizo sus aparición en el paisaje cultural de la costa centro norte, en particular entre los valles de Virú y Huarmey, probablemente después del abandono del templo Chavín de Huántar, hacia el año 200 a.C. Se desarrolló en un periodo clave de la prehistoria andina, que transcurre entre el auge de los grandes centros ceremoniales del periodo de origen de la civilización, o Formativo, y la formación de estados expansivos en el periodo de Desarrollos Regionales.

Este sitio comprende varias construcciones monumentales de piedra y mortero de barro. Una de las más sobresalientes es la estructura de forma ovoide conocida localmente como la “Fortaleza”, ubicada en la cima de un cerro (Ghezzi & Rodríguez, 2015) (Fig. 1).

La Fortaleza de Chankillo (Fig.1) es una construcción masiva de 300 m de longitud. Ha sido interpretado como fortaleza, reducto, y lugar de culto. No obstante, las investigaciones arqueológicas recientes permiten ofrecer una interpretación alternativa de la función de este edificio como un templo fortificado. Posee tres murallas concéntricas de hasta 8 m de alto y 6 m de ancho. El acceso a través de las murallas es por medio de portadas monumentales, que son pasajes techados con dinteles de madera de algarrobo que soportan rellenos de piedra y grava (Ghezzi & Rodríguez, 2015) (Fig.3 y Fig. 19 en anexos).

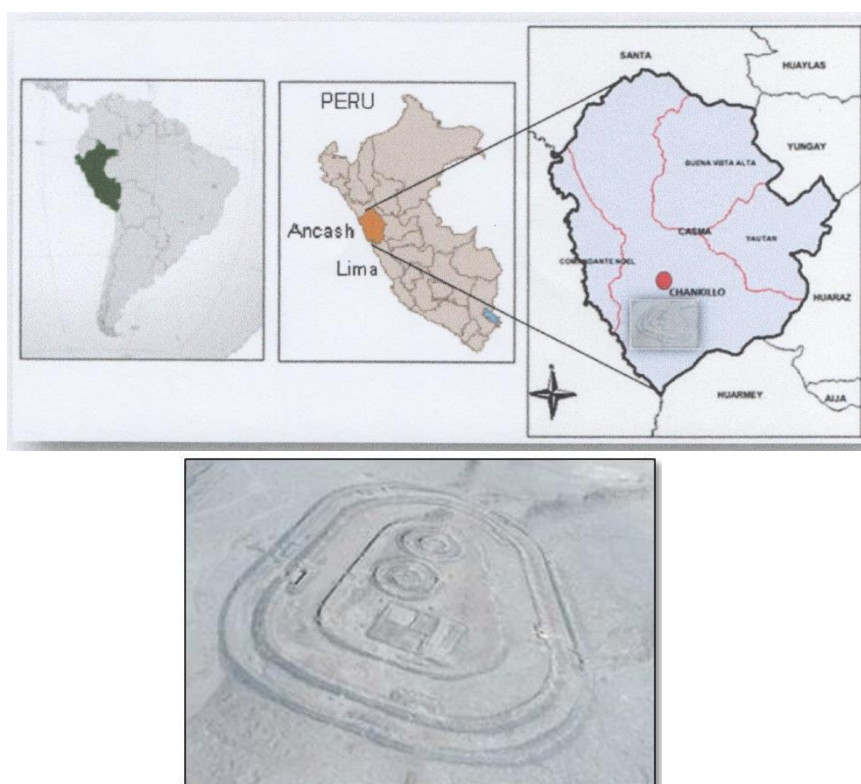


Figura 1. Ubicación de Chankillo (arriba) y vista satelital de Google Earth de La Fortaleza (abajo).

2.2. Procesamiento mecánico

2.2.1. Fase de campo: Se llevó a cabo en la Fortaleza del Complejo Astronómico Chankillo, por un equipo de excavación y extracción del Instituto de Investigaciones Arqueológicas (IDARQ) que estuvo a cargo del co-asesor.

El trabajo se realizó en dos etapas:

Etapas 1: Extracción de corers.- utilizando taladros con brocas de acero adaptadas para esta actividad, se extrajeron previamente 122 corers (tarugos) procedentes de dinteles de *Prosopis sp.* del Complejo Astronómico Chankillo. Éstos se colocaron en porta muestras plásticos para evitar su fragmentación, se rotularon y transportaron al laboratorio de dendrocronología de UDEP para continuar el proceso (Fig. 2).



Figura 2. Extracción de corers

Etapas 2: Obtención de secciones.- La Fortaleza fue dividida en las siguientes áreas de trabajo: a) Portadas b) Torreón Sur y c) Templo de los Pilares (Fig. 3).

En los troncos de algarrobo ubicados en estas áreas se realizaron cortes transversales utilizando motosierras y se extrajeron 50 rodajas. Posteriormente, las rodajas o secciones se embalaron, rotularon y transportaron al laboratorio de dendrocronología de UDEP para continuar el proceso (Fig. 4).

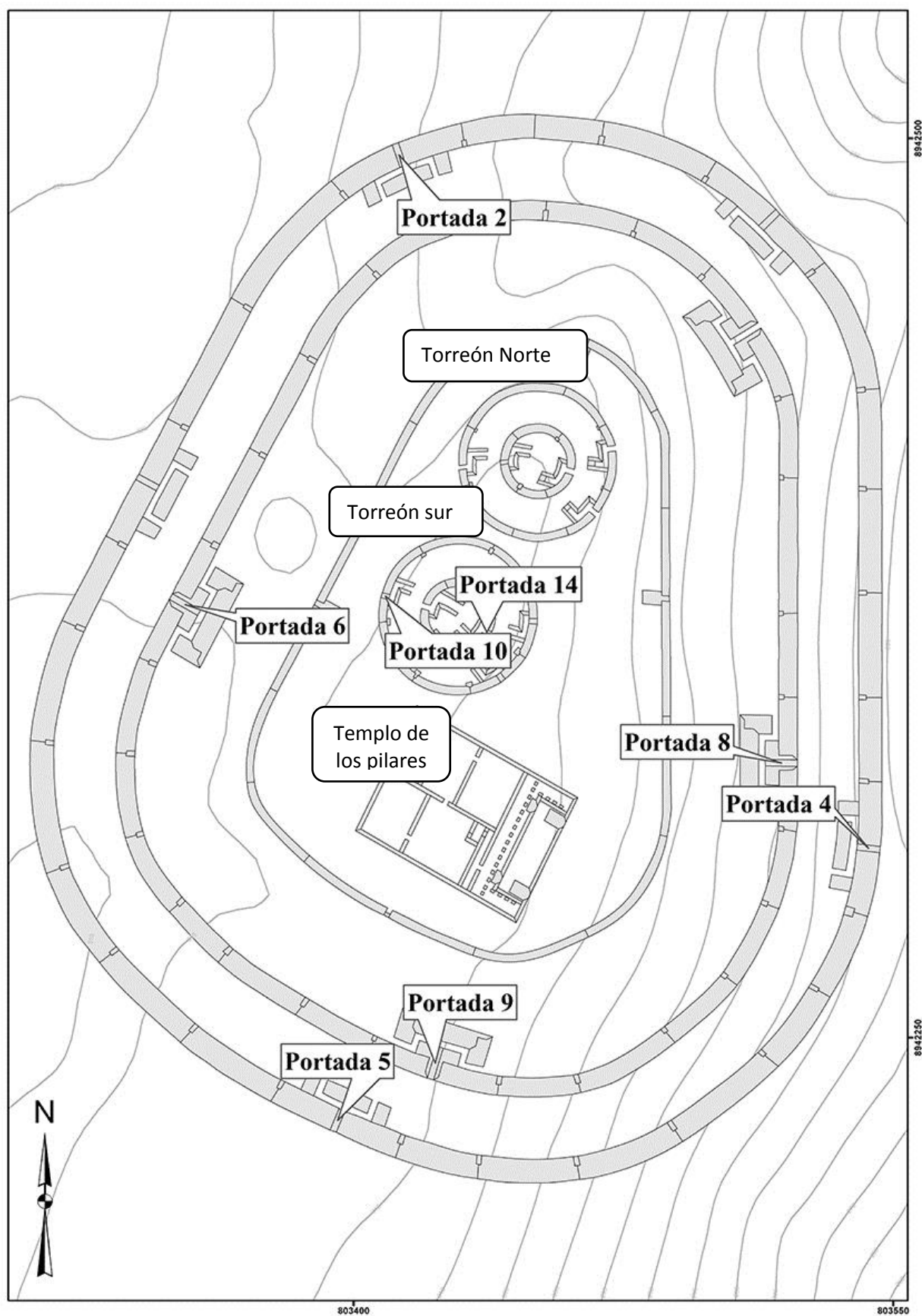


Figura 3. Fortaleza: Portadas de acceso, torreones y templo de los pilares.

Fuente: Ghezzi & Rodríguez (2015)



Figura 4. Extracción de secciones

2.2.2. Fase de laboratorio: Esta etapa se realizó en el laboratorio de dendrocronología de la Universidad de Piura.

2.2.2.1. Montaje de muestras

Corers.- Para evitar que se dañen al momento de pulir se colocaron en bases de madera. Luego se rotularon (Fig.5).



Figura 5. corer en base de madera.

Secciones.- Aquellas que presentaron fisuras se pegaron en bases de triplay y sus grietas se llenaron con goma de carpintero. Las que no presentaron daños solamente se pegaron con cinta adhesiva en su perímetro. Posteriormente se rotularon (Fig. 6).



Figura 6. Sección rotulada (izquierda), Sección en base de triplay (derecha)

2.2.2.2. Pulido de muestras.- Para una buena visibilidad de los anillos de crecimiento, los corers y secciones de algarrobo se pulieron con lijas de diferentes granos (tabla 2 y Fig. 20 en anexos). Las secciones se trabajaron individualmente y los corers en grupos de 5, el tiempo de pulido varió según las características de las muestras (tabla 1). Se excluyó del análisis 3 secciones por ser réplicas. Éstas fueron codificadas originalmente de la siguiente manera: N° 10 PCK 53(A), N° 14 PCK 55(B) y N° 17 PCK 58. Asimismo, se descartó el disco N° 39 PCK 141 por ser de una especie no identificada distinta al algarrobo (Tabla 6 en anexos). Quedando así 46 secciones aptas para emplearse en el análisis dendrocronológico.

Tabla 1: Tiempo de pulido

<i>Orden de pulido</i>	<i>Grano de lija (n°)</i>	<i>Tiempo (aprox.)</i>
Primero	24	3' - 5'
Segundo	60	2' - 4'
Tercero	100	2' - 4'
Cuarto	120	5' - 10'
Quinto	240	5' - 10'
Sexto	400	5' - 10'
Séptimo	600	5' - 10'
Octavo	800	5' - 10'
Noveno	1000	5'
Décimo	1500	5'
Undécimo	2000	5'
Duodécimo	2500	5'

Tabla 2: Orden de pulido, granos de lija e instrumentos

<i>Orden de pulido</i>	<i>Grano de lija (n°)</i>	<i>Diámetro aproximado de la partícula (micrones) 10-3 mm</i>	<i>Tamaño de grano</i>	<i>Instrumento</i>
<i>Primero</i>	24	740	Muy grueso	Amoladora angular eléctrica BOSCH GWS 7-115 ET, 220 V, 150 mm y 2,800 – 9,300 rpm
<i>Segundo</i>	60	264	Medio	Amoladora angular eléctrica BOSCH GWS 7-115 ET, 220 V, 150 mm y 2,800 – 9,300 rpm
<i>Tercero</i>	100	156	Medio	Amoladora angular eléctrica BOSCH GWS 7-115 ET, 220 V, 150 mm y 2,800 – 9,300 rpm
<i>Cuarto</i>	120	125	Fino	Lijadora excéntrica BOSCH GEX 125-150 AVE, 220 V, 150 mm y 5,500 – 12,000 rpm
<i>Quinto</i>	240	59	Muy fino	Lijadora orbital BOSCH GSS 140 A, 220 v/60Hz, 180W, 12000 min -1
<i>Sexto</i>	400	35	Extra fino	Lijadora excéntrica BOSCH GEX 125-150 AVE, 220 V, 150 mm y 5,500 – 12,000 rpm
<i>Séptimo</i>	600	26	Extra fino	Lijadora orbital BOSCH GSS 140 A, 220 v/60Hz, 180W, 12000 min -1
<i>Octavo</i>	800	22	Ultra fino	Lijadora orbital BOSCH GSS 140 A, 220 v/60Hz, 180W, 12000 min -1
<i>Noveno</i>	1000	18	Ultra fino	Lijadora orbital BOSCH GSS 140 A, 220 v/60Hz, 180W, 12000 min -1
<i>Décimo</i>	1500	12	Ultra fino	Lijadora orbital BOSCH GSS 140 A, 220 v/60Hz, 180W, 12000 min -1
<i>Undécimo</i>	2000	10	Ultra fino	Lijadora orbital BOSCH GSS 140 A, 220 v/60Hz, 180W, 12000 min -1
<i>Duodécimo</i>	2500	8	Ultra fino	Lijadora orbital BOSCH GSS 140 A, 220 v/60Hz, 180W, 12000 min -1

2.2.2.3. Reconocimiento y marcado de anillos de crecimiento

Corers.- Se usó un estereoscopio KARL ZEIS Stemi 2000-C para reconocer, contar y marcar los límites de los anillos de crecimiento; empezando desde el más cercano a la corteza hasta el próximo a la médula (Fig.7). Fueron descartados aquellos que presentaron menos de 30 anillos, teniendo así que, de los 122 corers pulidos se descartó 103; además se descartó 1 por ser de una especie no identificada distinta al algarrobo (PCK 106). Siendo aptos para emplearse en el solapamiento de series solamente 18 tarugos (Tabla 7 en anexos).

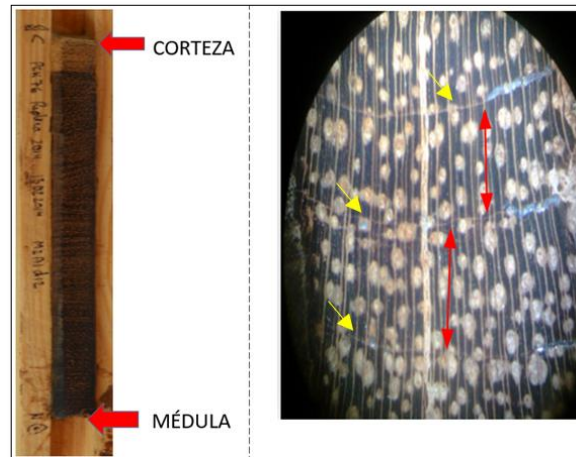


Figura 7. Izquierda: Corer en el que se indica zonas próximas a la médula y corteza. Derecha: Anillos de crecimiento (flechas rojas) y sus límites (flechas amarillas). Aumento 10x.

Secciones.- Según las características de la muestra, se trazó de 1 a 4 radios (Fig.8), obteniendo un total de 120 radios. Luego, con un estereoscopio KARL ZEIS Stemi 2000-C se reconoció y contó el número de anillos de crecimiento, siendo descartados 33 por poseer menos de 30 anillos de crecimiento (Tabla 6 en anexos). De esta manera, fueron sólo 87 radios los aptos para emplearse en el análisis dendrocronológico.

En éstos, para marcar el límite de sus anillos de crecimiento se inició desde el más cercano a la corteza hasta el próximo a la médula (Fig.8).

Posteriormente, para detectar errores en el crecimiento de la madera, se realizó el seguimiento de los anillos de un radio a otro (Fig.8, Fig. 9 y tabla 3).



Figura 8. Trazado de radios; reconocimiento, marcado y seguimiento de los anillos de crecimiento

2.2.2.4. Detección de errores en el crecimiento de la madera (Seguimiento de anillos)

Uno a uno se siguió los límites de los anillos de crecimiento de un radio hasta el radio contiguo. Esto permitió observar las zonas con anillos ausentes o anillos falsos (Fig. 9).

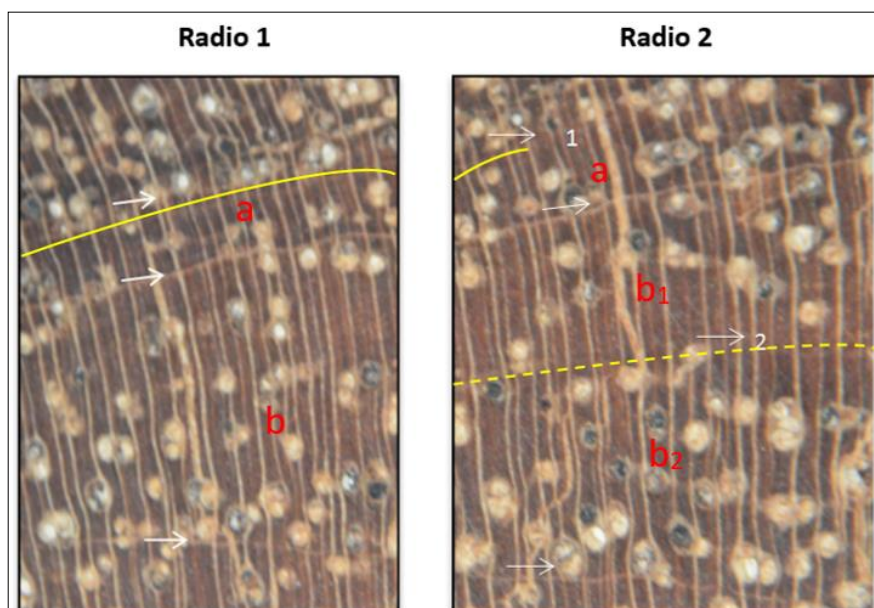


Figura 9. Observación estereoscópica de anillos de *Prosopis*. Se observa dos radios de una sección. Las líneas horizontales señaladas con flechas blancas corresponden a bandas de parénquima que delimitan los anillos de crecimiento. Las líneas verticales son las fibras y los círculos cremas son los poros. En el radio 1 se observan dos anillos de crecimiento, denominados “a” y “b”, cuyos límites se notan claramente. Al realizar el seguimiento del primer hasta el segundo radio, se visualiza que el límite superior desaparece (indicado por la flecha blanca 1 y línea continua amarilla). Por el contrario, al realizar el seguimiento del segundo, aparece un nuevo límite de parénquima (línea punteada amarilla), subdividiendo el anillo b en dos (b_1 y b_2).

Luego se trasladó los datos a una tabla en Excel. Esto permitió confrontar los radios y observar las zonas con anillos falsos y ausentes, así como las áreas con mayor discontinuidad en el crecimiento de la madera (tabla 3: cuadros azul, rojo y verde respectivamente).

El desarrollo de estos pasos fue importante, porque de ellos dependió el solapamiento entre series de crecimiento; razón por la cual esta etapa se realizó minuciosamente.

Tabla 3: Detección de anillos ausentes y falsos.

R1 (40)	R2 (38)	R3 (31)	R4 (35)
7	7		
8	8	2	7
9	9	3	8
10	10	4	
11	11	5	9
	12	6	10
12	13	7	
13	14		
14	15	8	11
15		9	
16	16	10	12
17	17	11	13
18	18	12	14
19	19	13	15
20		14	16
21	20		
22	21	15	17
23	22	16	18
24	23	17	19
25	24	18	20
26	25	19	21
27	26	20	
	27	21	22
	28	22	23
28	29	23	
29	30	24	24
30	31	25	25
31	32	26	26
			27
			28
			29
32	33	27	30
33			
34			
35	34	28	31
36			
37	35	29	32

*R1 – R4 representan los radios, en paréntesis se escribe la cantidad de anillos de crecimiento por radio y los números en columnas corresponden a la numeración de cada anillo.

2.3. Procesamiento digital

Se realizó en las instalaciones del laboratorio de dendrocronología de la Universidad de Piura.

2.3.1. Medición de anillos de crecimiento.-

Primero, con el escáner ARTISCAN 3200XL de Microtek se escaneó las muestras a una resolución de 3200 PPI (puntos por píxeles). Las imágenes obtenidas se guardaron en extensión .tif.

Segundo, en el programa ADOBE PHOTOSHOP CS6 - Adobe System Incorporated - versión 13.0.0.0 – 2012 se cargó la imagen de las secciones y se recortó sus radios, esto para disminuir el peso de las imágenes. Luego en cada radio se realizó ajustes de brillo/contraste/niveles/curvas, para mejorar la visualización de los anillos de crecimiento (fig. 10).

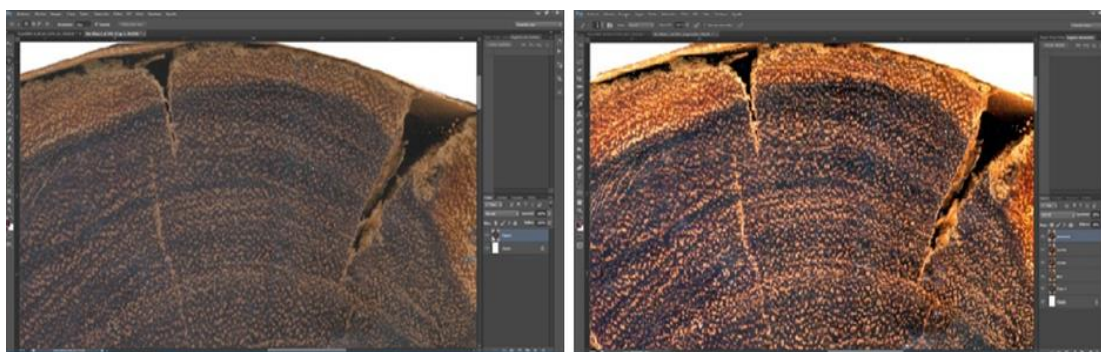


Figura 10. Ajustes de imagen: Imagen sin ajustes (izquierda) e imagen con ajustes (derecha).

Posteriormente, se cargó uno a uno los corers y se procesaron siguiendo los pasos de mejora que se dio a los radios recortados de las secciones.

Las imágenes mejoradas, tanto para secciones como para corers, se guardaron como .tif, porque esta extensión permitió ampliarlas sin afectar la calidad de visualización de los anillos de crecimiento.

Tercero, como las imágenes se conformaron por píxeles fue importante trabajar con una referencia que permitió establecer a cuántos píxeles correspondió 1 mm. Para realizar esto, con el estereoscopio KARL ZEIS Stemi 2000-C, en las muestras físicas, con una lámina que posee una regla de 1 mm se ubicó un anillo de crecimiento correspondiente a esa medida. Luego, en el programa ADOBE PHOTOSHOP CS6 - Adobe System Incorporated - versión 13.0.0.0 – 2012 se cargó las imágenes digitales correspondientes a las muestras físicas. Se ubicó el anillo de “referencia” y se marcó sus límites (fig.11). Una vez marcado el anillo de “referencia”, las imágenes se guardaron como extensión .tif.

Cuarto, las imágenes se cargaron en el programa COORECORDER 7.8 - Cybis elektronik & data AB-2014 y en la ventana emergente se verificó que los PPI correspondiesen con la escala del escáner (3200 PPI). Luego, en la misma ventana se escogió la opción sorted data, diseñada para medir anillos de crecimiento. Posteriormente, se calibró de píxeles a mm y se marcó el límite de los anillos de crecimiento, para finalmente obtener la serie de crecimiento individual en CDENDRO 7.8 - Cybis elektronik & data AB-2014 (Fig.11).

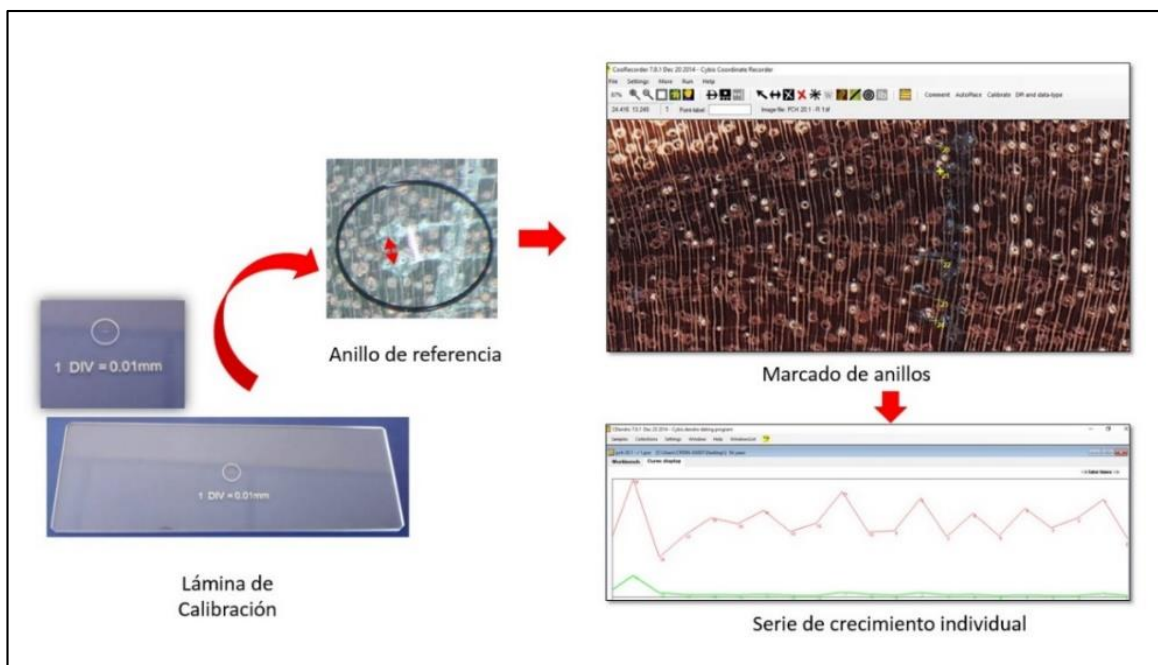


Figura 11. Medición de anillos de crecimiento

2.3.2. Montaje de la Colección

Se realizó el solapamiento de las series en el programa CDendro 7.8 - Cybis elektronik & data AB-2014.

a) Criterios para formar la colección.-

Para determinar si las secuencias dendrocronológicas de cada serie eran contemporáneas, y por tanto formaban una colección común, se tuvo en cuenta las características morfológicas de la madera, registros arqueológicos, valores estadísticos, la intensidad y frecuencia de los picos de mayor crecimiento (ENSOs). Los criterios tomados en cuenta fueron los siguientes: a) El offset (solapamiento) de los radios correspondientes a un mismo árbol correspondió con la formación de los anillos y sus semejanzas a lo largo del disco de madera (seguimiento de la madera). b) Las series procedentes de una misma portada arqueológica fueron, con mayor probabilidad, cronológicamente adyacentes. c) El coeficiente de correlación (cc) con respecto a la colección fue mayor a 0.3, d) Se agregó y/o eliminó anillos de crecimiento en lugares correspondientes a lo observado en las características de la madera, e) Los picos de mayor crecimiento (ENSOs) tuvieron que coincidir y f) La calidad de los datos fue verificada con dos métodos de normalización (Fig. 22 en anexos).

La normalización se empleó para reducir los valores extremos de los datos y verificar la relación estadística de las series. El primer método de normalización utilizado fue la Proporción de crecimiento de los últimos dos años limitada (P2YrsL), que divide la suma del crecimiento del año actual entre la suma del crecimiento del año actual y del año anterior.

El segundo método de normalización utilizado fue Baillie/Pilcher (BaPi), que divide el ancho del anillo de este año (actual) por el valor medio del ancho de los cinco anillos circundantes, incluyendo el anillo actual.

b) Descripción del montaje

Se elaboró una colección previa con los discos, verificando que durante el solapamiento de los radios se cumpliese los criterios mencionados en el punto 2.3.2.a. Una vez agregadas todas las secuencias de los discos se añadió las correspondientes a los corers, cumpliendo los criterios estipulados.

Al verificar la calidad del solapamiento empleando el primer método de normalización (P2YrsL), se descartó 66 series de crecimiento (59 de discos y 7 de corers) debido al bajo coeficiente de correlación (Tablas 6 y 7), el cual se mantuvo bajo aunque se trató de agregar y/o eliminar anillos de crecimiento en lugares correspondientes a lo observado en el seguimiento de la madera

Posteriormente, al verificar el solapamiento con el segundo método de normalización (BaPi) se observó tres series cuyos valores de correlación resultaron negativos, éstas fueron: PCK 130b, el radio 2 de la sección N° 15 PCK 56 y el radio 2 del disco N° 12 PCK 54. En estas series, al agregar y/o eliminar anillos de crecimiento conforme a lo observado en el seguimiento de la madera, no se logró mejorar el coeficiente de correlación; razón por la cual fueron descartados.

En cuanto a los corers, luego de normalizar se observó que las series G06C067 (PCK 67) y G06C082 (PCK 82) presentaron problemas de correlación con algunas series individuales de crecimiento. Pero no fueron descartadas al presentar un alto coeficiente de correlación con respecto a la colección y con la mayoría de las secuencias que la integran.

De esta manera fueron sólo 37 las series de crecimiento, 11 corers y 26 discos, aptas para formar la colección final. Esta colección se guardó en formato decanal (.Tucson.rwl).

2.4. Evaluación del potencial dendrocronológico

Al ser muestras muy antiguas (arqueológicas), cuya fecha de corte era desconocida; en un inicio, las secuencias trabajadas para formar la colección se denominaron series flotantes.

Para poder establecer el año de corte de cada serie y el fechado de la colección, acorde al calendario, se escogió al core PCK 76 y se envió al laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Cornell, ubicada en Ithaca-Nueva York; donde fue sometido a la prueba de readio carbono denominada wiggle-matching (permite obtener fechados C14 de alta precisión, con un error menor a 20 años) (Fig. 18 en anexos).

Una vez fechada la colección, se observó cuáles fueron los años correspondientes a los picos de mayor crecimiento, para poder así inferir los años en los que se desarrolló posibles Eventos El Niño. Además, se delimitó la fecha correspondiente al solapamiento de la mayor cantidad de series, para corroborar que el mayor número de series individuales de crecimiento solapen entre sí.

2.5. Estadística descriptiva

El procesamiento estadístico de la colección final del Complejo Astronómico Chankillo se realizó en el programa R Studio, el cual es un lenguaje de programación orientado al cálculo estadístico y a la generación de gráficas que se aplica a diversos estudios entre ellos la dendrocronología.

Previo al análisis estadístico en R Studio, los códigos de las series de crecimiento se modificaron, procurando que el nuevo código presente la siguiente información: procedencia (ubicación), tipo de muestra (disco o tarugo), número de muestra (Fig. 12). Asimismo, se promediaron los radios correspondientes a una misma sección: a) radios 1 y 3 del disco N° 9 PCK 52, b) radios 3 y 4 del disco N° 22 PCK B (1) y c) radios 1 y 4 de la sección N° 27 PCK F. Luego se codificaron como G21D052, XD00B y XD00F, respectivamente.

UBICACIÓN	TIPO DE MUESTRA	Nº DE MUESTRA
X	D	126
TS	D	135
G06	C	69

Figura 12. Nueva codificación. Donde: TS- torreón sur, G06- portada 6, X- ubicación desconocida, D-disco o sección, C-core o tarugo.

Luego, se determinó la capacidad de las series de crecimiento para producir una señal ambiental común y además se evaluó la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos intensos ocurridos durante la época correspondiente a la construcción del Complejo Astronómico Chankillo utilizando el paquete “Dendrochronology Program Library in R” DplR del software R Studio, exclusivo para evaluaciones dendrocronológicas (Alcalde, 2014; Bunn, 2010; Bunn & Korpela, 2014). A partir de esto se realizó:

- a) Análisis del incremento de área basal (bai), dónde se utilizó las medidas del ancho de los anillos de crecimiento sin estandarizar.
- b) Doble estandarización a las series para eliminar la variación no relacionada a factores biológicos como la edad, con el propósito de determinar la correlación final entre las series de crecimiento. Primero con una curva exponencial negativa y luego con una función spline cúbica (Cook & Kalriukstis, 1990).
- c) Análisis cronológico anual (índice de ancho de anillos), se calculó el índice de crecimiento para cada año, mediante el cociente entre el valor medido y el valor de la serie de ajuste para el mismo año.
- d) Para eliminar la autocorrelación de las series con modelos autorregresivos y mantener una varianza semejante y uniforme se preblanqueó (“prewhitened”) los índices.
- e) Empleando la media robusta (“biweight mean”), los índices se promediaron año por año minimizando así la influencia de valores extremos (outliers) en la derivación de la cronología media y se construyó así la cronología media de los índices de crecimiento del Complejo Astronómico Chankillo (Lopez, Rodríguez, García & Sabaté, 2006; Silva, 2012).
- f) Se verificó la calidad de la cronología calculando el promedio de ancho de anillos (suma del ancho de anillos de crecimiento de una serie), sensibilidad media (analizó variaciones en el ancho de los anillos de un año respecto al otro e indicó si la variabilidad en el crecimiento estuvo vinculada a las variaciones del clima), autocorrelación (verificó si el crecimiento dependía o no de las condiciones climáticas actuales), desviación estándar (midió la dispersión de los datos alrededor del promedio del ancho de anillos de crecimiento), y correlación (midió la interdependencia o asociación entre las series de crecimiento de árboles diferentes).

III. RESULTADOS

3.1. Formación de la colección

Se logró obtener una colección formada por 37 series: 11 de tarugos y 26 de discos. Utilizando como referencia al core PCK 76, cuya fecha de corte por wiggle-matching fue 213 ± 7 A.C, se logró establecer la extensión de la colección, correspondiente a 121 años comprendidos desde el año 321 A.C. hasta el año 201A.C. (Fig. 12). El mayor número de series solapadas fue 26 y correspondió a los años 245 A.C. y 247 A.C., seguida del solapamiento de 24 series para los años 249 A.C. y 257 A.C. Además, se observó un solapamiento de 23 series en los años, 243, 246, 251 – 254, 256 y 260 A.C. (Tabla 4).

Tabla 4: Número de series solapadas por año.

Nº de series solapadas										Años
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	(-201 - -210)
2	3	4	4	6	6	7	9	9	11	(-211 - -220)
10	11	8	12	12	12	10	13	15	14	(-221 - -230)
16	16	17	17	16	19	18	19	19	18	(-231 - -240)
20	20	23	22	26	23	26	21	24	22	(-241 - -250)
23	23	23	23	19	23	24	21	20	23	(-251 - -260)
20	21	21	15	21	21	18	19	16	17	(-261 - -270)
16	15	15	12	13	13	13	13	12	8	(-271 - -280)
7	6	7	6	6	6	5	4	2	2	(-281 - -290)
2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	(-291 - -300)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	(-301 - -310)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	(-311 - -320)
1										(-321)

*El cuadro rojo indica el mayor número de series solapadas (26), correspondiente a 245 y 247 A.C.

En esta colección, se realizó un total de 123 cambios, con 58 anillos de crecimiento insertados y 65 eliminados; con un promedio de 3,62 (4 aprox.) cambios por radio. Del total de cambios, el 47.15 % representó anillos ausentes o agregados y el 52.85 % anillos falsos o eliminados. La única serie en la que no se realizó cambios fue G06C069. Asimismo, el alineamiento de los picos más pronunciados permitió establecer como posibles eventos de El Niño a los años 275 A.C., 266 A.C., 251 A. C. y 233 A.C. (Fig. 13 y Fig. 16).

El coeficiente de correlación más alto entre cada serie y el promedio de la colección fue 0,91 y el más bajo 0,48, los cuales pertenecen a las series G04D140 y XD002 respectivamente. A su vez el promedio fue 0,63.

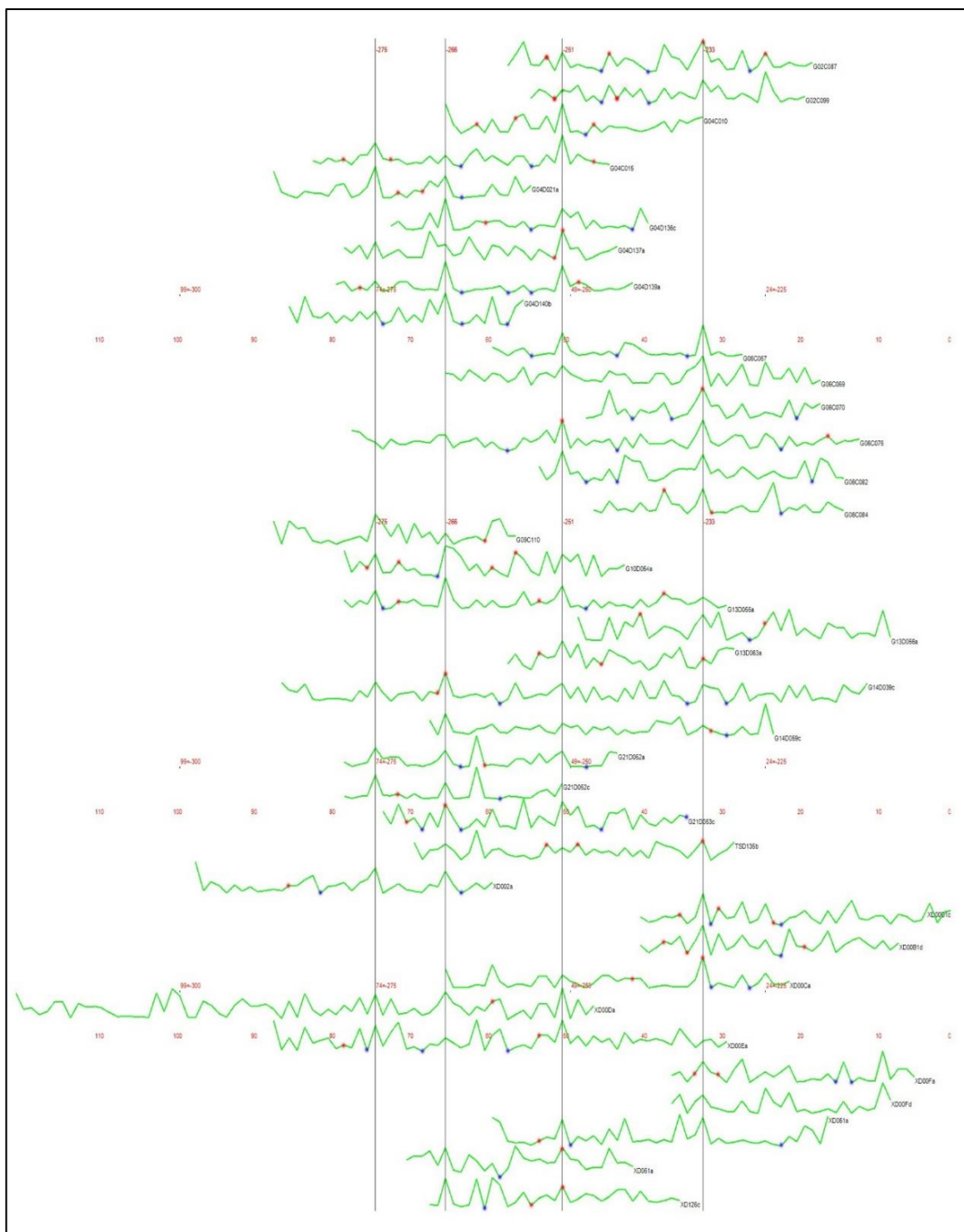


Figura 13. Series de crecimiento que forman la Colección de Chankillo.

La disposición de las series de crecimiento según su posición en el tiempo permitió inferir que el proceso de construcción para el sitio arqueológico Chankillo fue continuo. Asimismo, permitió observar que las primeras portadas en construirse fueron la 4 y 9, mientras que las puertas 2, 6, 13 y 14 fueron las últimas (Fig.14).

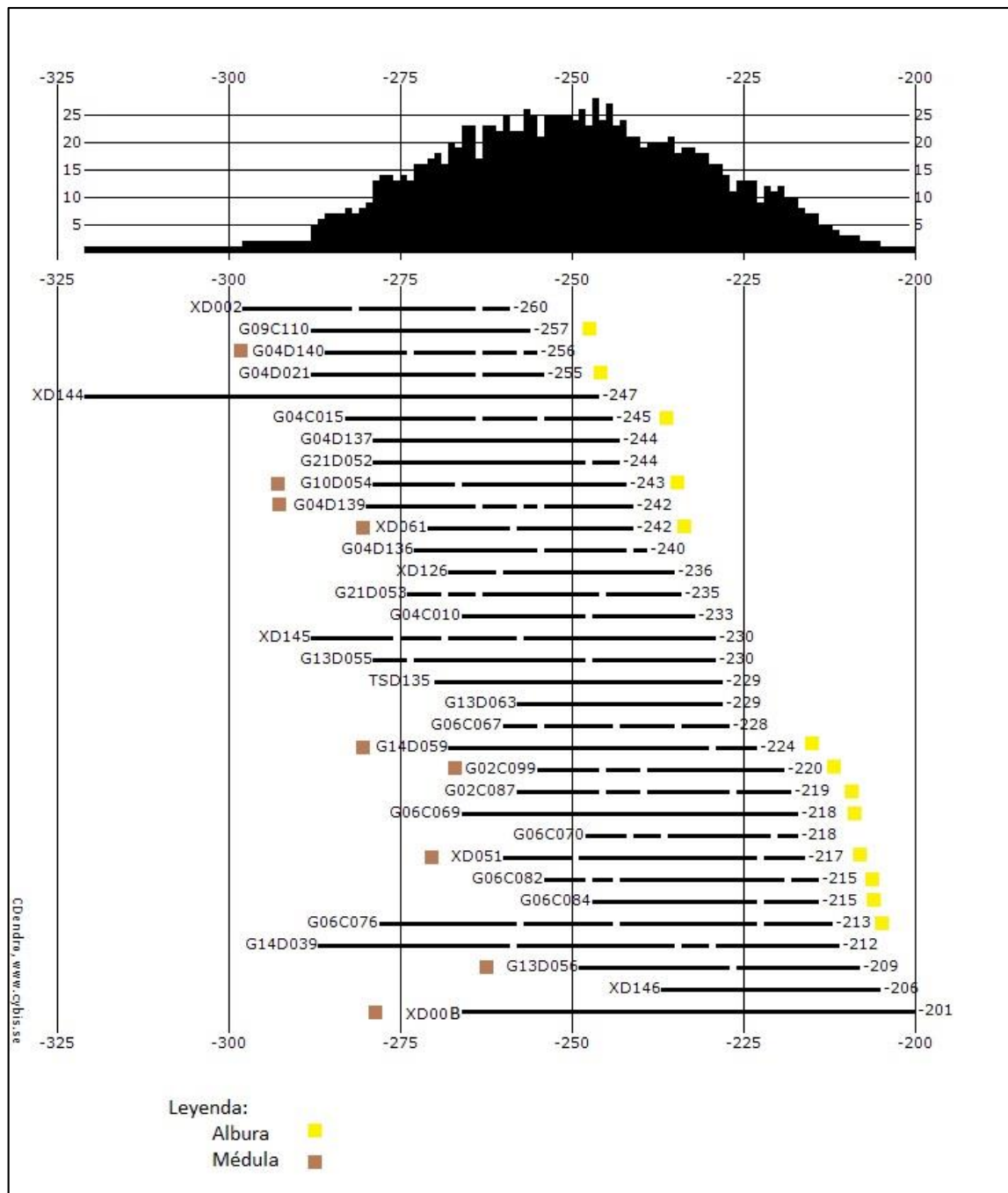


Figura 14. Colección Chankillo. Series distribuidas de acuerdo a la fecha de corte.

3.2. Capacidad para producir una señal ambiental común

La capacidad de las series de crecimiento de Chankillo para producir una señal ambiental común se vió reflejada: primero, en el buen solapamiento de las mismas (Fig. 13). Segundo, el coeficiente de correlación promedio fue 0,54. Tercero, la autocorrelación promedio de las series de crecimiento fue 0,07, el valor más alto 0,50 y el más bajo fue -0,35. Cuarto, por una sensibilidad media para la colección de 0,94. Quinto, una desviación estándar promedio de 3,26 mm, con un máximo de 5,95 mm y un mínimo de 0,66 mm. Sexto el promedio del ancho de los anillos para la colección fue 3,23 mm, siendo el mayor crecimiento de 6,57 mm y el menor de 0,96 mm y por último la colección mostró una mediana de 2,28 (tabla 5).

Tabla 5: Indicadores de la capacidad para producir señal ambiental común en Chankillo

<i>series</i>	<i>años</i>	<i>ancho de anillos (mm)</i>	<i>mediana (mm)</i>	<i>desviación estándar (mm)</i>	<i>Sensibilidad (mm)</i>	<i>Autocor relación</i>	<i>correlación</i>
G02C087	40	2,97	1,66	3,36	1,01	0,28	0,68
G02C099	36	5,40	4,27	4,38	1,01	-0,05	0,59
G04C010	34	3,16	1,76	3,66	0,89	0,10	0,69
G04C015	39	3,05	2,25	3,30	0,95	-0,06	0,65
G04D021	34	4,31	2,58	5,91	1,04	0,12	0,38
G04D136	34	3,91	2,49	4,44	1,03	-0,07	0,68
G04D137	36	5,94	4,64	5,18	0,88	0,18	0,36
G04D139	39	3,03	1,89	3,37	0,94	0,03	0,66
G04D140	31	1,84	1,57	1,86	1,40	-0,18	0,70
G06C067	33	3,66	1,92	5,64	1,15	-0,08	0,75
G06C069	49	1,40	1,28	0,91	0,73	0,05	0,65
G06C070	31	3,48	2,12	4,04	1,05	0,38	0,75
G06C076	66	1,60	1,29	1,41	0,78	0,29	0,58
G06C082	40	2,57	1,90	2,20	0,88	0,30	0,60
G06C084	33	2,93	1,68	3,27	0,98	0,04	0,64
G09C110	32	2,51	1,95	2,04	0,88	0,09	0,33
G10D054	37	4,13	3,21	3,68	1,02	-0,04	0,50
G13D055	50	4,58	3,52	4,47	1,01	-0,01	0,77
G13D056	41	3,41	2,86	3,09	1,07	0,02	0,51
G13D063	30	6,57	5,55	4,42	0,72	0,20	0,50
G14D039	76	2,94	2,38	2,28	0,86	0,08	0,49
G14D059	45	3,33	2,20	4,07	0,99	-0,06	0,56
G21D052	36	0,97	0,55	1,23	0,95	-0,05	0,59
G21D053	40	3,85	2,56	3,41	1,12	-0,08	0,60
TSD135	42	3,40	2,81	2,54	0,74	0,11	0,50
XD002	39	4,22	2,51	5,95	1,00	0,02	-0,03
XD00B	41	0,98	0,88	0,66	0,88	-0,35	0,51
XD00C	45	4,39	1,82	5,09	1,03	0,29	0,51

<i>series</i>	<i>años</i>	<i>ancho de anillos (mm)</i>	<i>mediana (mm)</i>	<i>desviación estándar (mm)</i>	<i>Sensibilidad (mm)</i>	<i>Autocor relación</i>	<i>correlación</i>
<i>XD051</i>	44	3,22	1,43	4,79	0,95	0,37	0,42
<i>XD061</i>	30	1,55	1,09	1,23	0,60	0,50	0,48
<i>XD126</i>	33	1,26	0,81	1,20	0,76	-0,14	0,55
<i>XD144</i>	75	3,74	3,09	2,96	0,87	0,03	0,11
<i>XD145</i>	58	4,72	4,23	4,06	1,00	0,04	0,43
<i>XD146</i>	32	0,96	0,82	0,77	0,90	-0,13	0,59

En la figura 15 es posible observar la correlacion de las series en bloques de 20 años, donde las series G13D056, XD00C, G14D059 y XD145 presentan correlaciones bajas en uno de sus intervalos de solapamiento. Mientras que el resto de las series presentan una correlacion significativa en todos los fragmentos.

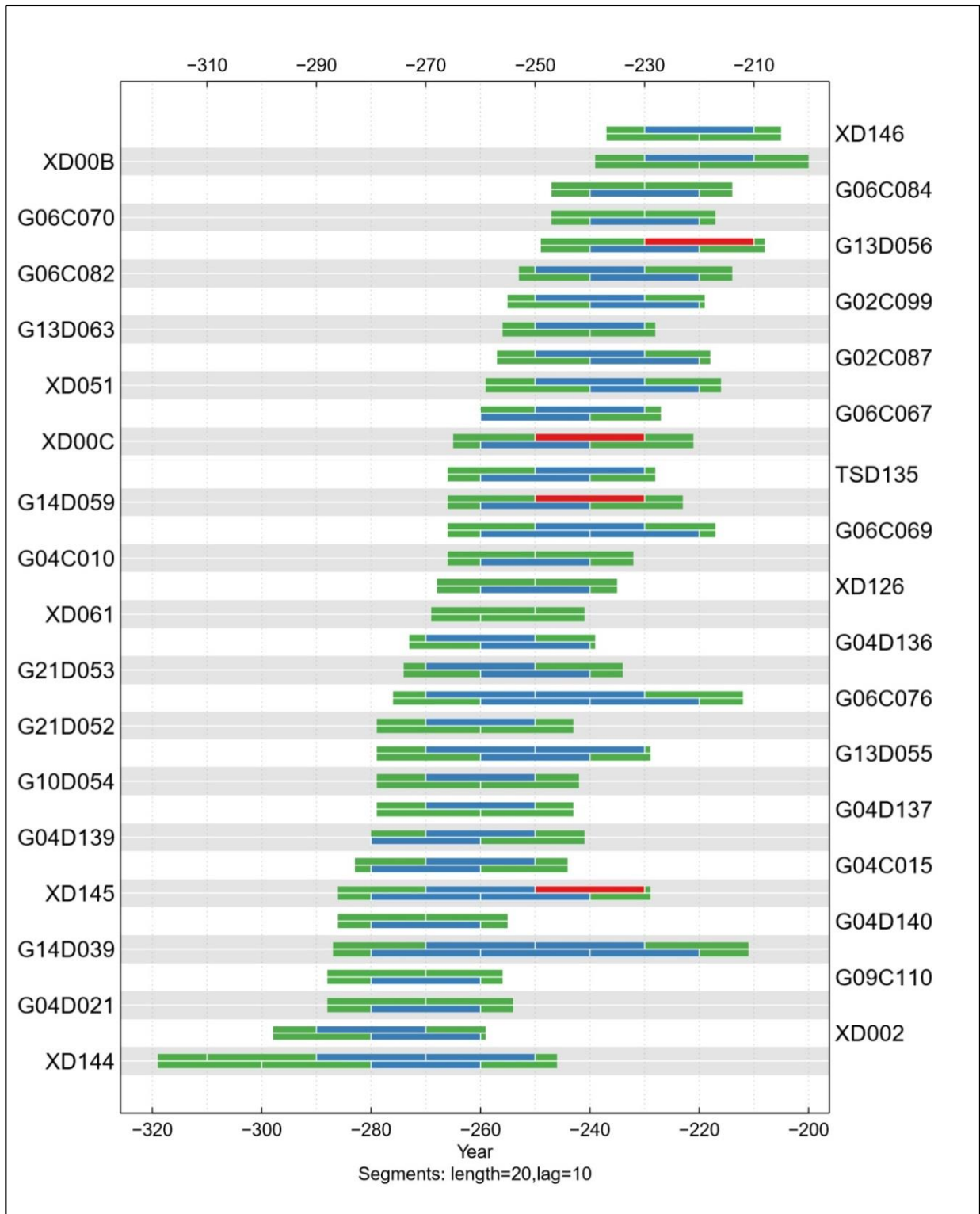


Figura 15. Correlación de las series de colección chankillo. Barras de color verde representan el total de la colección y las barras celestes las zonas de solape de cada una de las series de crecimiento con respecto a la colección en intervalos de 20 años

La cronología del índice del ancho de anillos presentó como valor máximo 2,84 mm y como valor mínimo 0,14 mm. Pero, en condiciones ambientales normales se pudo observar que el promedio fue 0,90 mm, en cambio en condiciones ambientales favorables el crecimiento promedio fue 2,38 mm. Asimismo, la línea roja muestra la tendencia del crecimiento de los anillos durante el periodo de 201 A.C a 320 A.C con promedio 0,95 y valor máximo de 1,06 y mínimo de 0,90. Además, se observa períodos marcados de crecimiento, correspondiente a los años 233 A.C, 251 A.C, 266 A.C, 275 A.C, considerados como años de Niño y; a los años 204 A.C, 210 A.C, 301 A.C y 303 A.C, considerados como años No Niño, debido al número de árboles solapados (Fig. 16).

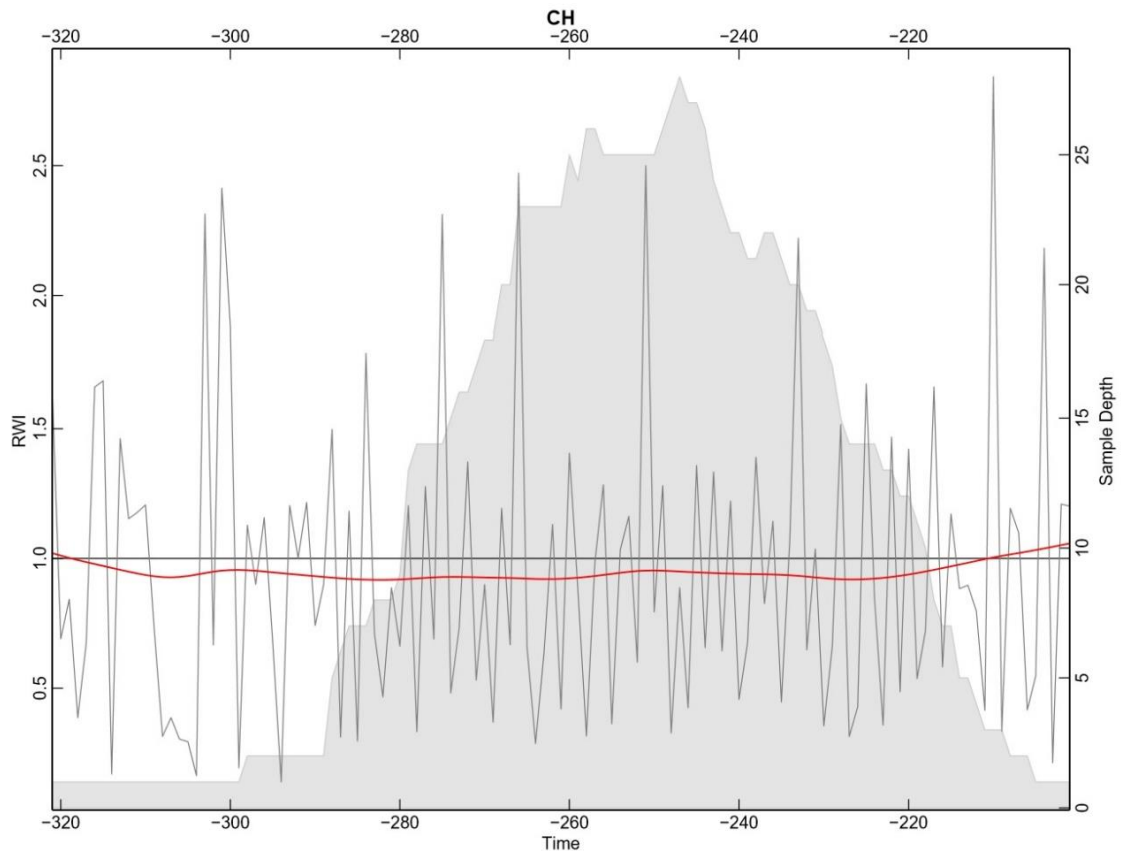


Figura 16. Cronología del índice del ancho de anillos de Chankillo. Fondo gris: radios solapadas por año. Línea roja: tendencia en el crecimiento.

3.3. Frecuencia e intensidad de eventos climáticos

El incremento del área basal indicó que los picos de mayor crecimiento fueron los correspondientes a los años 251 A.C. y 233 A.C., considerados como los eventos climáticos de mayor intensidad durante esa época (Mega Niños), distribuidos en dos periodos marcados de crecimiento, el primero desde 251 A.C. hasta 249 A.C. y el segundo desde 238 A.C hasta 233 A.C. (Fig. 17).

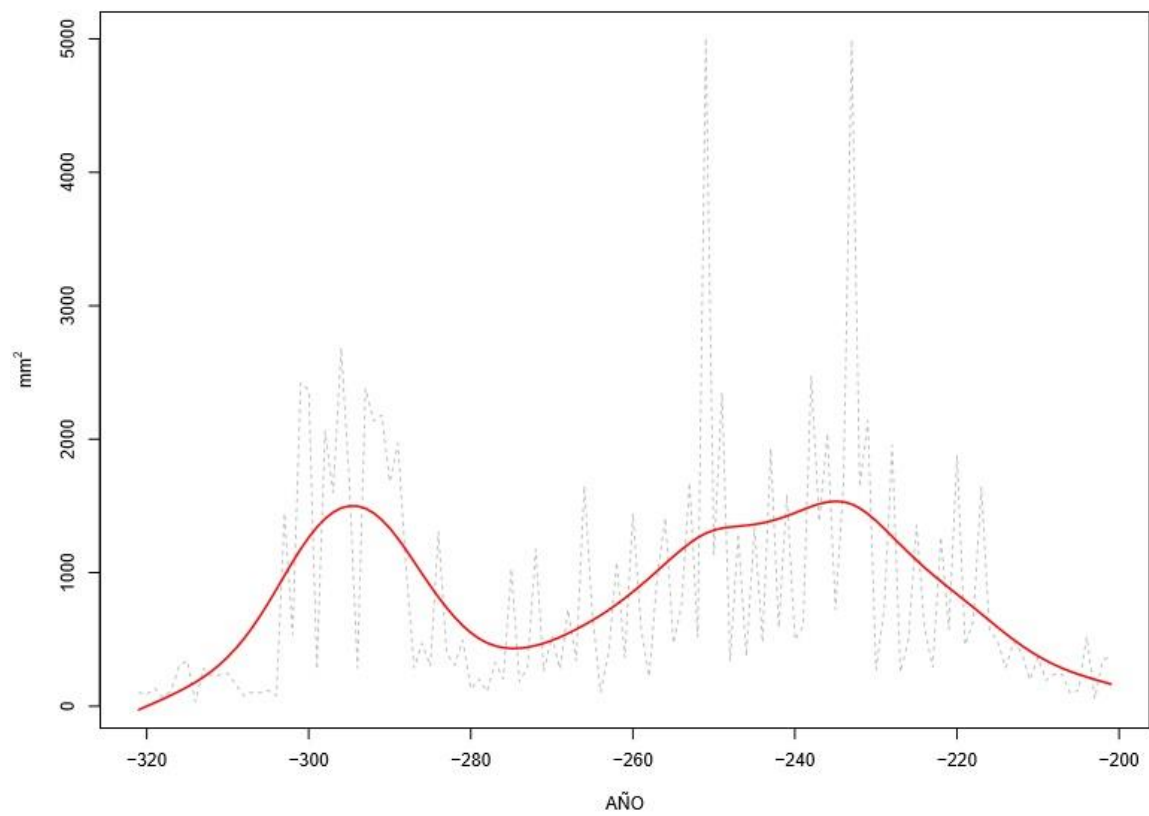


Figura 17. Mega Niños durante la construcción de Chankillo.

IV. DISCUSIÓN

El número de series por año nos indica cuán confiable es la información dendrocronológica de una colección (Rivera et al., 2010). De esta manera, datos anuales conformados por más de 10 series son más precisos que datos conformados por una o dos series. La distribución de las series de crecimiento en la colección del sitio arqueológico Chankillo permitió observar un período de 59 años comprendidos entre los 220 A.C. - 222 A.C. y 224 A.C. - 279 A.C. que proporcionó mejor información dendrocronológica debido al solape de más de diez series por año. Asimismo, se observó dos etapas, final (201 A.C. – 219 A.C.) e inicial (280 A.C. – 321 A.C.) que proporcionaron menor información dendrocronológica por poseer menos de diez series solapadas e incluso mostraron años en los que sólo se solapó de 1 a 2 series de crecimiento. El solape menor a diez series por año en la etapa final de la colección fue debido a que algunos individuos como por ejemplo G14D39 y XD00D resultaron ser muy longevos, esta característica sumada al corte simultáneo de los árboles influyó en que hubiese pocos años solapados en la etapa inicial.

Durante el crecimiento, la madera de *Prosopis sp.* tiende a formar anillos característicos (falsos o ausentes) que sólo pueden detectarse a través de la datación cruzada. Para compensar estos “errores” en el crecimiento, se insertó o eliminó anillos en lugares específicos detectados durante el solapamiento. En el caso de los anillos eliminados, la medida del grosor del mismo se sumó al anillo contiguo, sea al anterior o al posterior. Del total de anillos en la colección el 4.14 % correspondió a los anillos agregados, insertados para cubrir a los anillos ausentes o discontinuos de *Prosopis sp.* La formación de estos anillos fue debido a dos razones, la primera es la restricción de las condiciones climáticas, como la precipitación, que impidió el crecimiento del árbol en algunas épocas de su desarrollo (239 A.C., serie G02C099), algunos autores han observado que los anillos ausentes se forman como respuesta de las plantas a factores de estrés, como las épocas de sequía severa, agregando que al no poder medir directamente su grosor, deben añadirse después de realizar el cruzamiento (solape, datación cruzada) (George, Ault, & Torbenson, 2013; Stokes, 1968). La segunda es el crecimiento continuo de la madera debido a la presencia de lluvias intensas (ENSOs intensos) que influyen en la formación del borde de los anillos hasta en dos años consecutivos (261 A.C., series XD126c). Por otro lado, el 4.64 % correspondió a los anillos eliminados, que representaron los anillos dobles o falsos. La formación de estos anillos en zonas tropicales fue debido a la posibilidad del xilema de activar su crecimiento dos veces al año debido a la alta estabilidad anual de la temperatura, radiación y disponibilidad hídrica. Esto fue un problema porque los principios de la dendrocronología exigen que la formación de anillos siga un patrón anual, donde el crecimiento inició en épocas favorables y se detenga en no favorables (Schweingruber, 1980; Wimmer, Strumia, & Holawe, 2000). Sin embargo, en especies tropicales este es un problema común, y el bajo porcentaje obtenido en los datos de este estudio y los coeficientes de correlación entre las series, indicaron que es posible solucionarlo.

De los anillos de crecimiento de los árboles se puede extraer mucha información útil para diversos estudios, entre ellos los asociados al clima. En este estudio se analizó algunos valores estadísticos para verificar la capacidad de *Prosopis sp.* para producir una señal ambiental común. Uno de los datos analizados fue el ancho de los anillos, cuyos valores máximo y mínimo (6,57 mm y 0,96 mm, respectivamente), así como su promedio (3,23 mm) han permitido observar que el crecimiento no es homogéneo en el tiempo y en el estudio la mayor parte de anillos de crecimiento fueron grandes; lo cual fue bueno para el trabajo de solapamiento de la colección porque la visualización de los mismos durante el seguimiento fue mucho más acertada y con un porcentaje pequeño de error de visualización y por ende la discrepancia de anillos agregados o eliminados se asemejó mucho a la realidad de la respuesta de los árboles a los factores ambientales. Esta variación en el grosor de los anillos de crecimiento se reforzó con el valor promedio de la sensibilidad (0,94 mm), debido a que ésta mostró la capacidad de *Prosopis sp.* para reflejar la influencia de los factores ambientales, en este caso la precipitación. Asimismo, la desviación estándar, cuyo valor fue alto (3,26 mm), permitió confirmar esta influencia al observar la dispersión de los datos debido a la presencia años de Niños. Estos valores son comparables a

los obtenidos en estudios dendrocronológicos de otras especies del mismo género, en Argentina; los cuales mostraron valores de sensibilidad y desviación estándar más bajos (Jové, 2014; Morales et al., 2001; Rivera et al., 2010).

Por otro lado, la baja autocorrelación (0,07) de las series permitió observar la independencia de un año respecto al anterior, verificando así que el crecimiento del ancho del anillo de un año determinado dependía de las condiciones ambientales de ese año. Villalba & Boninsegna (1989), Ancajima (2017) en sus estudios de diferentes especies de *Prosopis* obtuvieron valores similares de autocorrelación.

Otro indicador para producir una señal ambiental común fue el coeficiente de correlación, el cual mostró la buena asociación que existió entre todas las series de crecimiento que conformaron la colección. No obstante, cuatro series mostraron correlaciones bajas en los últimos 20 años de su crecimiento: G13D056 (210 A.C. – 230 A.C.), XD00C (230 A.C.-250 A.C.), XD145 (230 A.C.-250 A.C.). Esta incongruencia posiblemente fue generada por la disminución del grosor de algunos anillos de crecimiento mientras aumentó la edad de los individuos, dificultando así la delimitación de los mismos (Villalba y Boninsegna, 1989; Villalba, Villagra, Boninsegna, Morales y Moyano, 2000); por tanto, mostró la debilidad que en ocasiones poseen algunos individuos de algarrobo para formar colecciones dendrocronológicas.

Otra información que se pudo obtener del estudio de los anillos fue la frecuencia e intensidad climática a la que estuvieron influidos durante su crecimiento. De esto, la cronología del índice del ancho de anillos permitió apreciar que los ENSOs durante la época de formación de Chankillo fueron cada 9 – 18 años, siendo el crecimiento de los anillos durante las épocas de Niño más del doble del grosor que en épocas normales. De estos ENSOs, dos fueron considerados como Mega Niños, los correspondientes a los años 251 y 233 A.C., fechas en las cuales el incremento del área basal fue hasta cinco veces más grande comparada con las otras fechas de Niño y mucho mayor al compararse con épocas normales.

En arqueología, el estudio de los anillos de crecimiento y su datación permite obtener información histórica (Llorente, 2012). En este estudio, la aplicación de la dendroarqueología ha permitido obtener información relevante sobre Chankillo, ayudó a inferir que la construcción se realizó desde las murallas exteriores (portadas 4 y 9) hacia el interior, con la finalidad tal vez de generar una barrera que evitase el daño en el resto de la construcción, al protegerla del viento que viajaba del Sureste al Noroeste y poder construir de forma más cómoda los recintos internos. Esto además provocó que los dinteles de portadas interiores (2 y 6) acumularan más humedad y presentaran más deterioro por hongos e insectos (presencia de galerías).

Asimismo, se apreció que los eventos climáticos (Mega Niños) repercutieron en la construcción del sitio arqueológico, debido a que en las primeras portadas construidas se halló menor número de dinteles en comparación con las portadas construidas al final (Tabla 8 en anexos). Deduciendo así que las portadas inicialmente construidas se formaron antes de un Niño y las lluvias contribuyeron a tomar mejores decisiones en la etapa subsiguiente de la construcción, como fue el fortalecimiento de las portadas con un mayor número de dinteles.

V. CONCLUSIONES

- Se formó una colección cuya extensión fue 121 años, comprendidos entre el 321 A.C hasta el 201 A.C., donde la distribución de sus series de crecimiento permitió observar un periodo de 59 años (220 A.C.-222 A.C. y 224 A.C.-279 A.C.) que brindó mejor información dendrocronológica debido al solape de más de 10 series por año.
- Del total de anillos de la colección el 4,14% correspondió a los que fueron agregados y el 4,64% a los eliminados; los cuales representaron a los anillos ausentes o discontinuos y a los dobles respectivamente.
- El coeficiente de correlación (0,54), la sensibilidad (0,94) y la desviación estándar (3,26 mm) son algunos de los indicadores que permitieron observar la capacidad de *Prosopis sp.* para reflejar la influencia de los factores ambientales, siendo considerada en este estudio la precipitación.
- La baja autocorrelación (0,07) de las series de *Prosopis sp.* permitió observar la independencia de un año respecto al anterior, verificando que el crecimiento del ancho de un anillo en un año determinado dependía de las condiciones ambientales de ese año.
- La aplicación de la dendroarqueología en Chankillo permitió además inferir que la construcción se realizó desde las murallas exteriores hacia las interiores.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar investigación que permita determinar la especie a la que corresponden los individuos pertenecientes al género *Prosopis*, que forman parte de la construcción de Chankillo.
- Realizar evaluaciones dendrocronológicas en otros sitios históricos del Perú, para obtener información de la influencia de los factores ambientales en las diferentes zonas de nuestro país durante el pasado.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalde, G. (2014). Respuesta individual de *Prosopis caldenia* a las variables climáticas en los bosques de la región semiárida de Argentina. Universidad de Valladolid, Argentina.
- Ancajima, E. (2017). *Dendrocronología de Prosopis sp. en la región Piura*. Universidad Nacional de Piura.
- Avila, Y., Ballón, C., Bustamante, K., Condori, C., Rosero, J., & Chavesta, M. (2010). Evaluación del crecimiento de árboles de *Enterolobium cycloscarpum* (JACQ.) Griseb (Oreja de negro) a través del análisis dendrocronológico. *IX CONGRESO NACIONAL FORESTAL*, 432–438.
- Bannister, B. (1980). La dendrocronología. *Ciencia En Arqueología*.
- Beltrán, L., & Valencia, G. (2013). Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la Selva Central, Perú. *Revista de Biología Tropical*, 61, 1025–1037.
- Burghardt, A. D., Brizuela, M. M., Mom, M. P., Albán, L., & Palacios, R. A. (2010). Análisis numérico de las especies de *Prosopis* L. (Fabaceae) de las costas de Perú y Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 17(3), 317–324.
- Campos, L. (2009). *Dendrocronología en árboles de Tornillo, Cedrelinga cateniformis Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Región Loreto – Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Cancino, C., Farneth, S., Garnier, P., Vargas, J., & Webster, F. (2009). Estudio de daños a edificaciones históricas de tierra después del terremoto del 15 de agosto del 2007 en Pisco, Perú. *The Getty Conservation Institute*, 76.
- Carreras, R. (2009). Las maderas en los objetos aborígenes cubanos. *Anales Del Museo de América XVII*, 166–182.
- Chirinos, H., & Aguinaga, E. Z. (2011). *Historia de la construcción en Lambayeque. Periodos Prehispánico y Virreinal*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Cook, E. ., & Kalriukstis, L. a. (1990). Application in the environmental sciences. *Methods of Dendrochronology*, 1, 97–104.
- Dussart, E., Medina, A., & Bogino, S. (2015). Dendroecología en la pampa Argentina: investigaciones actuales, pasadas y futuros desafíos, 24(2), 51–59.
- George, S. S., Ault, T. R., & Torbenson, M. C. A. (2013). The rarity of absent growth rings in Northern Hemisphere forests outside the American Southwest. *Geophysical Research Letters*, 40(14), 3727–3731. <https://doi.org/10.1002/grl.50743>
- Ghezzi, I., & Rodríguez, R. (2015). Primera serie dendroarqueológica en el Perú: Resultados preliminares de Chankillo, Casma. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 44(1). <https://doi.org/10.4000/bifea.7465>
- Giménez, A. M., Moglia, J. G., & Gómez, J. (2013). Maderas empleadas en construcciones históricas jesuíticas de Córdoba, Argentina, 212–228.
- Giraldo, J. (2011). Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales. *Colombia Forestal*, 14(1), 97–111.

- Guillermo, J. (2004). *Edificación con madera : prehistoria de una tecnología ecológica*. Universidad Nacional del Norte.
- Guti, E. (2009). La dendrocronología : métodos y aplicaciones. *Arqueología Nautica Mediterránea*, (May), 309–322.
- Mendilsevo, H., Camarero, J. J., & Gutiérrez, E. (2016). Dendrocronología en bosques neotropicales secos : métodos, avances y aplicaciones, 25(2), 66–75.
- Jardines, J., Toppe, A., & Calvera, J. (2013). La madera en la arqueología de Cuba. Los Buchillones. *Cuba Arqueológica. Revista Digital de Arqueología de Cuba Y El Caribe*, VI(1), 9–29.
- Jové, G. (2014). *Respuesta individual de Prosopis caldenia a las variables climáticas en los bosques de la Región semiárida de Argentina*. Universidad de Valladolid.
- Juárez, O. (1995). *La Madera En Arqueología*. Universidad Veracruzana.
- Llorente, C. (2012). La historia que nos explican los árboles. Dendrocronología: Reconstruyendo la historia, 1, 1–22. Retrieved from http://revistes.ub.edu/index.php/b_on/index
- Lopez, B., Rodríguez, R., García, C., & Sabaté, S. (2006). Climatic signals in growth and its relation to ENSO events of two Prosopis species following a latitudinal gradient in South America. *Global Change Biology*, 12(5), 897–906. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01138.x>
- Morales, M. S., Villalba, R., Grau, H. R., Villagra, P. E., Boninsegna, J. A., Ripalta, A., & Paolini, L. (2001). Potencialidad de Prosopis ferox Griseb (Leguminosae, subfamilia: Mimosoideae) para estudios dendrocronológicos en desiertos subtropicales de alta montaña. *Revista Chilena de Historia Natural*, 74, 865–872.
- Pereyra, M., Inga, G., Santos, Ma., & Rodríguez, R. (2014). Potencial de Cedrela odorata (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. *Revista de Biología Tropical*, 62(June), 783–793. <https://doi.org/10.2118955>.
- Pérez, G., Carrión, Y., Valcárcel, A., & Burillo, F. (2007). La integración de los materiales arqueobotánicos en el estudio funcional y espacial de la ciudad Celtibérica de Segeda.
- Rivera, C. (2013). *Potencial dendrocronológico de árboles de la amazonia colombiana*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rivera, M., Moya, J., & Shea, D. (2010). Dendrocronología en la Pampa del Tamarugal, Desierto de Atacama, Norte de Chile. *Diálogo Andino*, (36), 33–50.
- Rodríguez, E. (1997). La dendrocronología y el carbono 14. En la datación de bienes culturales. *ASOCIACIÓN DE INVESTIGACIÓN TÉCNICA DE LAS INDUSTRIAS DE LA MADERA (AITIM)*, 188.
- Rodríguez, R., Mabres, A., Luckman, B., Evans, M., Masiokas, M., & Ektvedt, T. M. (2005). “El Niño” events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia*, 22(3), 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.05.002>
- Rodríguez, R., Woodman, R., Balsley, B., Mabres, A., & Phipps, R. (1993). Avances sobre estudios dendrocronológicos en la región costera norte del Perú para obtener un registro pasado del fenómeno El niño. *Inst. Fr. d’Etudes Andines*, 22(1), 267–281.
- Schweingruber, F. H. (1980). Dichteschwankungen in Jahrringen von Nadelhölzern in Beziehung zu klimatisch-ökologischen Faktoren, oder das Problem der falschen Jahrringe. Eidg. Anstalt für das Forstliche Versuchswesen.
- Silva, V. (2012a). *Estudio dendrocronológico de una población de Polylepis rugulosa en los Andes semiáridos de Arica y Parinacota*.

- Silva, V. (2012b). *Estudio dendrocronológico de una población de Polylepis rugulosa en los Andes semiáridos de Arica y Parinacota (tesis de pregrado)*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Stokes, M. A. S. (1968). (1968). An introduction to tree-ring dating.
- Tomazello, M., Roig, F. A., & Zevallos, P. A. (2009). Dendrocronología y dendroecología tropical : Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina, (2003).
- Vásquez, L., Ecurra, J., & Huamán, A. (2010). Los algarrobos del Peru. *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú*.
- Villalba, R., Villagra, P. E., Boninsegna, J. A., Morales, M. S., & Moyano, V. (2000). Dendroecología y dendroclimatología con especies del género Prosopis en Argentina. *Multequina*, 9(2), 1–18.
- Wimmer, R., Strumia, G., & Holawe, F. (2000). Use of false rings in Austrian pine to reconstruct early growing season precipitation. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(11), 1691–1697. <https://doi.org/10.1139/x00-095>
- Zúñiga, C. (2012). *Aplicación de la dendrocronología para evaluar la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento de Tectona grandis L.f. procedente del Fundo Génova-Junín*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

ANEXOS

Análisis de radiocarbono y wiggle-matching

El objetivo principal de nuestro proyecto es ofrecer reconstrucciones paleoclimáticas a partir de secuencias dendrocronológicas de Prosopis. Sin embargo, se anticipa que las secuencias que se elaborará probablemente serán “flotantes”, es decir que serán secuencias anuales de anillos, pero que no estarán amarradas aun a una fecha calendárica. Las secuencias flotantes tienen entonces una ubicación temporal “relativa”, que procede de información arqueológica e histórica disponible sobre el sitio de muestreo, pero para una reconstrucción paleoclimática se requiere darles primero una ubicación temporal absoluta. Esto se puede lograr mediante fechados radiocarbónicos (^{14}C) de los anillos de madera.

Los fechados ^{14}C deben ser sometidos a un post-proceso llamado calibración, que a menudo diluye grandemente la precisión del resultado debido a la imprecisión inherente a la curva de calibración (Hogg, et al. 2013). Esto es aún más cierto para fechados ^{14}C peruanos, pues la curva de calibración para el hemisferio sur está aún menos desarrollada que la internacional, por lo que es mayor la incertidumbre. Sin embargo, se puede obtener fechados ^{14}C de “alta precisión”, con un error menor a 20 años, mediante una técnica llamada *wiggle-matching*. Esta técnica es un modelamiento estadístico de los fechados ^{14}C , que presume que se conoce con certeza el orden relativo de un conjunto de fechados y la distancia en años entre éstos. Cuando se conocen estos parámetros, el modelamiento reduce grandemente la incertidumbre y los fechados alcanzan alta precisión.

Evidentemente, la aplicación ideal del *wiggle-matching* es en los anillos de árboles, donde se cumplen los requisitos de orden y distancia temporal conocidos entre los fechados. En estos casos, el modelamiento estadístico analiza las variaciones (*wiggles*) en las series de fechados ^{14}C ordenadas según los anillos de los que proceden, y las empalma (*matching*) con el sector correspondiente en la curva de calibración radiocarbónica. Esta técnica combina entonces dendrocronología con la ciencia del radiocarbono para lograr fechados ^{14}C de error mínimo. Así, aplicando *wiggle-matching*, las series dendrocronológicas “flotantes” podrán leerse en años calendáricos, con un error pequeño, permitiendo las esperadas reconstrucciones paleoclimáticas.

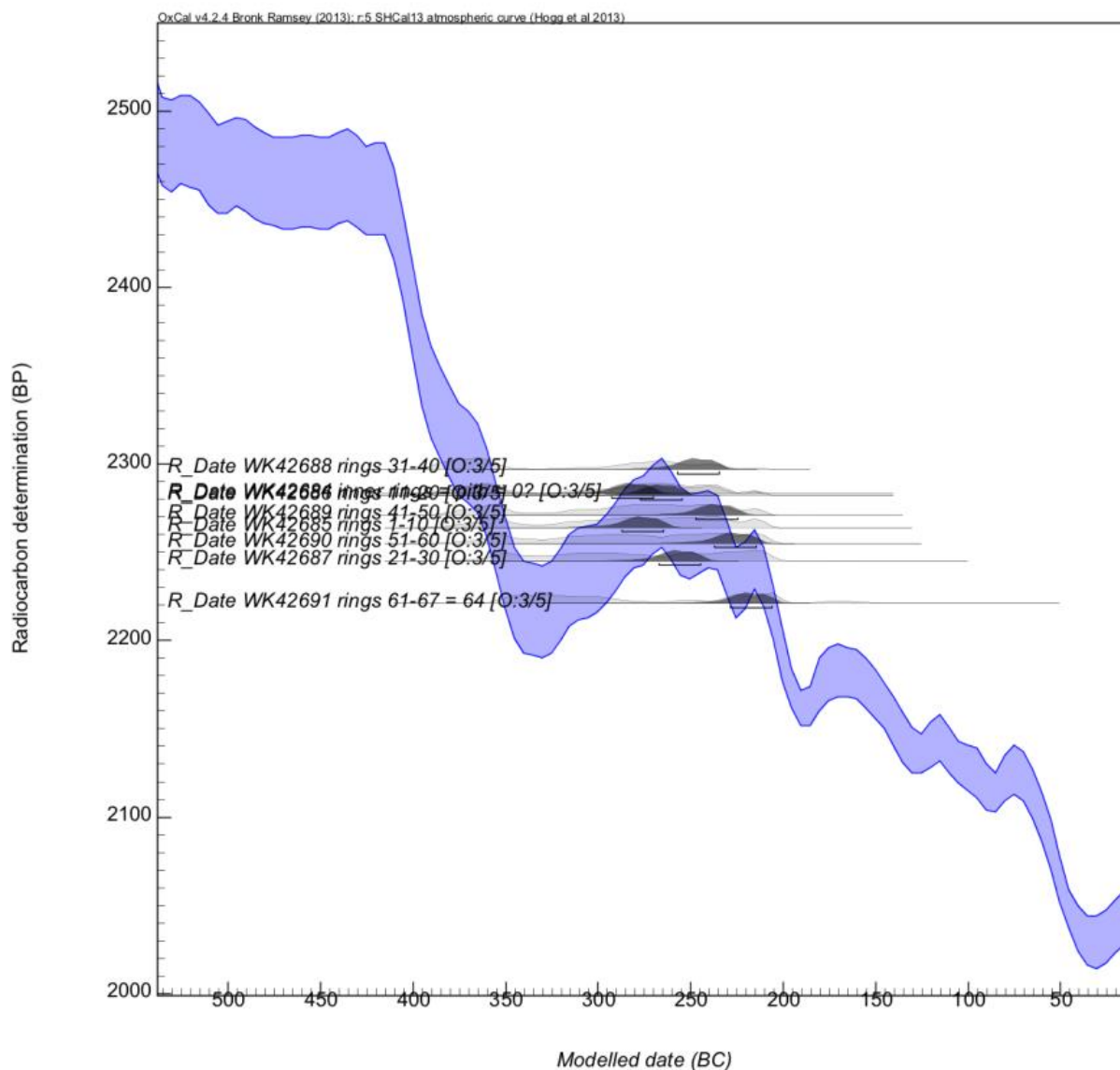


Figura 15. Wiggle-matching de los fechados ^{14}C obtenidos cada 10 anillos de la muestra PCK-76 de Chankillo.

Texto extraído del informe final del proyecto “Estudio de parámetros biológicos en *Prosopis* sp. como un registro paleoclimático: Fundamentos y uso de nuevos métodos de medición dendrocronológica. Financiado por Innovate Perú. Presupuesto concedido: 102264 euros. Duración 3 años: 2014-2017”. (404-PNCP-PIBA-2014)

Tabla 6: Secciones obtenidas de Chankillo

<i>CODIGO ORIGINAL</i>	<i>RADIOS TRAZADOS</i>	<i>RADIOS DESCARTADOS</i>	<i>RADIOS USADOS</i>	<i>OBSERVACIÓN</i>	<i>UBICACIÓN</i>
<i>N° 16 PCK 57</i>	3	3	0	<coef.corr	PORTADA 13
<i>N° 17 PCK 58</i>	3	3	0	< n° anillos	-----
<i>N° 18 PCK 59</i>	3	2	1	<coef.corr	PORTADA 14
<i>N° 19 PCK 60</i>	3	3	0	<coef.corr	PORTADA 14
<i>N° 20 PCK 63</i>	2	1	1	<coef.corr	PORTADA 13
<i>N° 21 PCK A</i>	3	3	0	<coef.corr	-----
<i>N° 22 PCK B (1)</i>	4	2	2	< n° anillos	-----
<i>N° 23 PCK B (2)</i>	DESCARTADO	DESCARTADO	DESCARTADO	DESCARTADO	-----
<i>N° 24 PCK C</i>	2	1	1	<coef.corr	-----
<i>N° 25 PCK D</i>	2	1	1	<coef.corr	-----
<i>N° 26 PCK E</i>	2	1	1	<coef.corr	-----
<i>N° 27 PCK F</i>	4	2	2	< coef.corr; < n° anillos	-----
<i>N° 28 PCK G</i>	1	1	0	<coef.corr	Templo de los pilares
<i>N° 29 PCK H</i>	2	2	0	< n° anillos	-----
<i>N° 30 PCK 132</i>	2	2	0	<coef.corr	Templo de los pilares
<i>N° 31 PCK 134</i>	3	3	0	<coef.corr	Torreón sur
<i>N° 32 PCK 133</i>	3	3	0	< n° anillos	-----
<i>N° 33 PCK 135</i>	3	2	1	<coef.corr	Torreón sur
<i>N° 34 PCK 136</i>	4	3	1	<coef.corr	PORTADA 4
<i>N° 35 PCK 137</i>	1	0	1	<coef.corr	PORTADA 4
<i>N° 36 PCK 138</i>	1	1	0	< n° anillos	-----
<i>N° 37 PCK 139</i>	3	2	1	<coef.corr	PORTADA 4
<i>N° 38 PCK 140</i>	3	2	1	<coef.corr	PORTADA 4
<i>N° 39 PCK 141</i>	Otra especie	Otra especie	Otra especie	Otra especie	-----

<i>CODIGO ORIGINAL</i>	<i>RADIOS TRAZADOS</i>	<i>RADIOS DESCARTADOS</i>	<i>RADIOS USADOS</i>	<i>OBSERVACIÓN</i>	<i>UBICACIÓN</i>
<i>N° 40 PCK I</i>	3	3	0	< n° anillos	-----
<i>N° 41 PCK J</i>	2	2	0	< n° anillos	-----
<i>N° 42 PCK K</i>	1	1	0	< n° anillos	-----
<i>PCK 001</i>	2	2	0	< n° anillos	-----
<i>PCK 1D</i>	4	4	0	< n° anillos	-----
<i>PCK 1E</i>	2	2	0	< n° anillos	-----
<i>PCK 46</i>	2	2	0	<coef.corr	-----
<i>PCK 61</i>	3	2	1	<coef.corr	-----
<i>PCK 126</i>	4	3	1	<coef.corr	-----
<i>PCK 130b</i>	4	4	0	<coef.corr	-----
<i>PCK 131a</i>	2	2	0	< n° anillos	-----
<i>TOTAL</i>	120	92	28		

Tabla 7: Tarugos de Chankillo

<i>CODIGO ORIGINAL</i>	<i>OBSERVACIÓN</i>	<i>MOTIVO</i>	<i>UBICACIÓN</i>
<i>PCK 10</i>	EMPLEADO	-----	PORTADA 4
<i>PCK 110</i>	EMPLEADO	-----	PORTADA 9
<i>PCK 15</i>	EMPLEADO	-----	PORTADA 4
<i>PCK 67</i>	EMPLEADO	-----	PORTADA 6
<i>PCK 69</i>	EMPLEADO	-----	PORTADA 6
<i>PCK 70</i>	EMPLEADO	-----	PORTADA 6
<i>PCK 76</i>	EMPLEADO	-----	PORTADA 6
<i>PCK 82</i>	EMPLEADO	-----	PORTADA 6
<i>PCK 84</i>	EMPLEADO	-----	PORTADA 6
<i>PCK 87</i>	EMPLEADO	-----	PORTADA 2
<i>PCK 99</i>	EMPLEADO	-----	PORTADA 2
<i>PCK 100</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 2
<i>PCK 101</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 2
<i>PCK 101r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 2
<i>PCK 102</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 103</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 9
<i>PCK 104</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 105</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 105r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 106</i>	DESCARTADO	otra especie	-----
<i>PCK 107</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 107r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 108</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 109r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 9
<i>PCK 11</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 111</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 112</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 113</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 9
<i>PCK 114</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 115</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 116</i>	DESCARTADO	<coef.corr	PORTADA 9
<i>PCK 117</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 118</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 9
<i>PCK 12</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 120</i>	DESCARTADO	<coef.corr	PORTADA 9
<i>PCK 121</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 122</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 123</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 9
<i>PCK 128</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 129</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 13</i>	DESCARTADO	<coef.corr	PORTADA 4
<i>PCK 16</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----

<i>CODIGO ORIGINAL</i>	<i>OBSERVACIÓN</i>	<i>MOTIVO</i>	<i>UBICACIÓN</i>
<i>PCK 17</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 18</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 19</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 4
<i>PCK 1A</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 1B</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 20</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 21</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 22</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 23</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 24r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 3
<i>PCK 25</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 26</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 27</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 28</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 29</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 8
<i>PCK 2A</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 2b</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 30A</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 30b</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 8
<i>PCK 31</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 32</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 33</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 8
<i>PCK 34</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 35</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 36</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 37</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 39</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 3A</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 4</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 5
<i>PCK 40</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 40r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 41</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 42</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 43r</i>	DESCARTADO	<coef.corr	PORTADA 20
<i>PCK 44</i>	DESCARTADO	<coef.corr	PORTADA 20
<i>PCK 45</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 46</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 46r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 47</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 47r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 48</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 49</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 5</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 62</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 63</i>	DESCARTADO	<coef.corr	PORTADA 20

<i>CODIGO ORIGINAL</i>	<i>OBSERVACIÓN</i>	<i>MOTIVO</i>	<i>UBICACIÓN</i>
<i>PCK 64</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 65</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 6
<i>PCK 66</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 68</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 6r</i>	DESCARTADO	<coef.corr	PORTADA 5
<i>PCK 71</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 6
<i>PCK 72</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 73r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 74</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 75</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 77</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 6
<i>PCK 79</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 7A</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 7B</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 8</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 5
<i>PCK 80</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 81</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 83</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 83r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 85r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 6
<i>PCK 86</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 88</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 2
<i>PCK 89</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 9</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 90</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 90</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 91</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 2
<i>PCK 92</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 2
<i>PCK 93</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 93r</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 94</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 2
<i>PCK 95</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 96</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 97</i>	DESCARTADO	< n° anillos	-----
<i>PCK 98</i>	DESCARTADO	< n° anillos	PORTADA 2

Tabla 8: Número de dinteles por portada

<i>PORTADA</i>	<i>Nº DE DINTELES</i>
2	16
4	11
8	10
9	22
6	21



Figura 16. Portada techada con dinteles de algarrobo

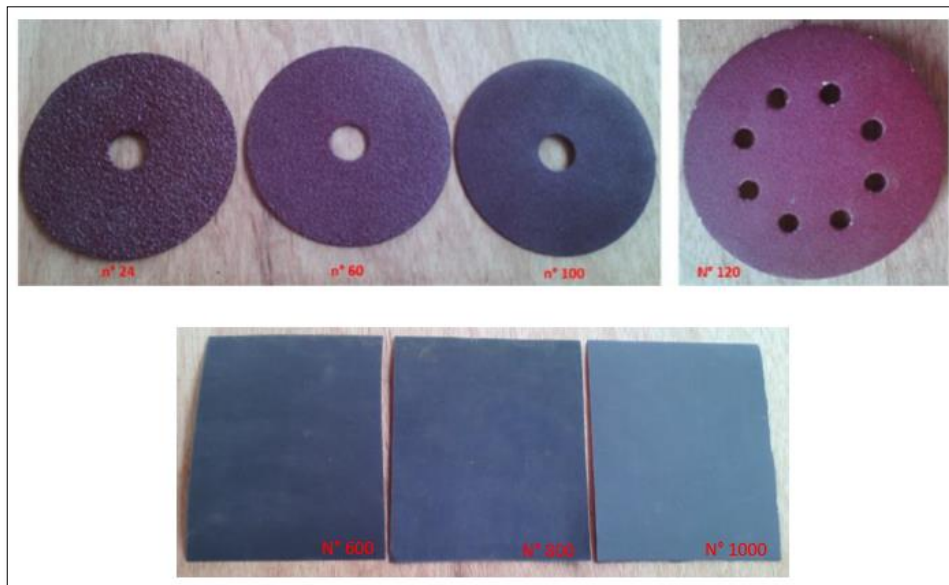


Figura 17. Lijas con diferente número de grano empleadas para pulir



Figura 18. Pulido de una sección con lijadora excéntrica

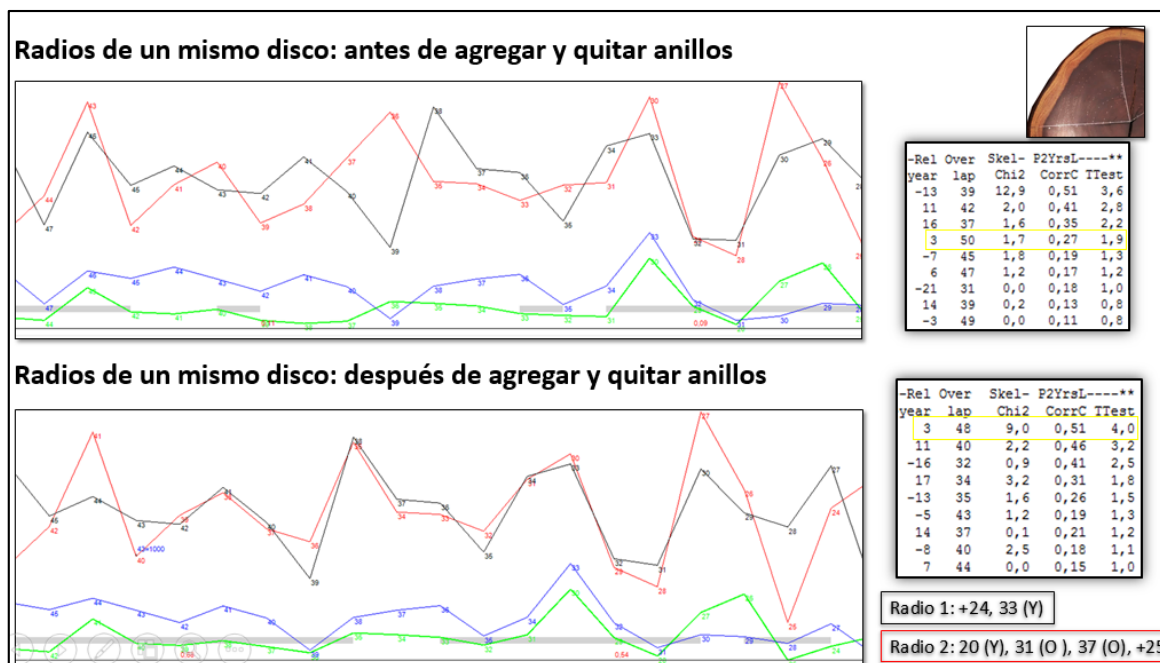


Figura 19. Criterios de solapamiento utilizados para formar la colección.